



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

TAPAUSTUTKIMUS SUUNNITTELUTYÖKALUN KEHITTÄMISESTÄ

Perttu Wilén

Ohjaaja: Matti Kangaspuoskari

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka

Diplomityö 2019

TIIVISTELMÄ

Tapaustutkimus suunnittelutyökalun kehittämisestä

Perttu Wilén

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Diplomityö + 2019, 56 s. + 2 liitettä

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Yliopisto-opettaja TkL Matti Kangaspuoskari

Diplomityön tavoitteena oli tutkia Tekla Tedds ohjelmiston soveltuvuutta teräsrakenteiden liitosten laskentaan. Ohjelmalla luotiin Eurokoodipohjainen liitoslaskuri yhdestä teräsrakenteiden liitoksesta. Liitoslaskennasta saatuja tuloksia vertailtiin FEM-laskentaan kahden tapauksen osalta. Näissä tapauksissa liitoslaskennan kuormat oli asetettu siten, että halutussa murtotapauksessa on 100 % käyttöaste.

Laskentapohjaa luodessa pyrittiin hyödyntämään Tekla Teddsin ominaisuuksia mahdollisimman kattavasti. Laskurin luomisprosessi ja sen tekemiseen käytetty aika dokumentoitiin. Ohjelmaa verrattiin myös vastaavassa käytössä olevaan kilpailijaan. Ominaisuuksiltaan Tekla Tedds on monipuolinen ohjelma. Erityisesti laskentapohjien automatisointi Interface Designer Pro:n avulla ja ohjelman kirjaston valmiit laskelmat luovat etua kilpailijoihin nähden. Ohjelman tärkeimpien ominaisuuksien omaksuminen vaatii kuitenkin melko paljon aikaa sekä perinpohjaista tutustumista ohjeisiin. Laskentaa helpottavien monimutkaisten käyttöliittymien luomista helpottaa ohjelmointiosaaminen. Kokonaisuudessaan Tekla Teddsillä luodut liitoslaskentapohjat ovat tehokkaita ja helppokäyttöisiä.

Työn teoriaosana oli Eurokoodin mukainen mitoitus teräsrakentamisessa käytetystä poskilevyliitoksesta. Tutkittavasta liitoksesta valittiin kaksi käytännön suunnittelutyössä tyypillistä murtotapausta. Tutkittaville murtotapauksille annettiin kuormat siten, että niille saatiin 100 % Eurokoodin mukainen käyttöaste. Tuloksia vertailtaessa vastaavasti kuormitettuihin tapauksiin FEM-laskennassa, havaittiin liitosalueelle syntyvän merkittävän suuria jännityksiä.

Asiasanat: Tekla Tedds, suunnitteluohjelma, teräsrakentaminen

ABSTRACT

A case study on the development of a structural design tool

Perttu Wilén

University of Oulu, Degree Programme in Civil Engineering

Master's thesis + 2019, 56 pp. + 2 Appendixes

Supervisor(s) at the university: Lic. Sc. (Tech.) Matti Kangaspuoskari

The aim of this thesis was to investigate the applicability of Tekla Tedds structural calculation software for calculations of steel structural connections. The case study was to create Eurocode-based connection calculator with Tekla Tedds. The results of the connection calculation were compared with calculations from FEM analysis program for two cases. In these cases loads in the connections were set to get 100 % utilization rate on both investigated breaking events.

While creating the calculations, it was aimed to make the most of Tekla Tedds features. The process of creating the calculator and time consumed during that, were documented. The program was also compared to a similar competitor program by its features. In terms of features, Tekla Tedds is overall a versatile program. In particular, the automation made with Interface Designer Pro and pre-computations in Tedds library create biggest advantage over competitors. However, mastering the most important features of the program requires quite a bit of time at first and thorough familiarization with the instructions. The creation of complex user interfaces is facilitated by any programming skills. Overall, Tedds-based calculations are powerful and easy to use.

Theoretical part of the thesis was the Eurocode design of the full depth steel connection. Two typical failure cases were selected from investigated 15 cases. Those two cases were loaded under 100 % utilization rate according to the Eurocode. Comparing the results with the correspondingly loaded cases with FEM calculations, it was found that significant stresses were implied to the connection area.

Keywords: Tekla Tedds, structural calculation software, steel construction

ALKUSANAT

Diplomityöni Tapaustutkimus suunnittelutyökalun kehittämisestä on tehty ohjelmistoyhtiö Trimblelle sekä WSP Finland Oy:n Oulun rakennetekniikan teollisuusosastolle. Työ on osa Oulun yliopiston rakenne- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelman suorittamista. Aiheena on tapaustutkimus Tekla Tedds -ohjelmiston soveltuvuudesta teräsrakenteiden liitosten suunnittelutyökaluksi. Työssä tarkastellaan yhtä Eurokoodin mukaista teräsrakenteiden liitosta.

Työn ohjaajana toimii yliopisto-opettaja Matti Kangaspuoskari Oulun yliopistolta. Työn tarkastajat ovat Topias Turunen WSP:ltä ja Kai Häkkinen Trimbleltä.

Haluan kiittää ohjaajaa, tarkastajia sekä yrityksiä, jotka ovat antaneet työn aiheet ja mahdollistaneet työn tekemisen. Erityiset kiitokset myös opiskelu- ja työtovereilleni, jotka ovat pitäneet opinnot ja tämän diplomityön tekemisen mielekkäinä matkan varrella.

Oulu, 09.08.2019

Perttu Wilen

Työn tekijä

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO.....	
MERKINNÄT JA LYHENTEET.....	
1 JOHDANTO	9
2 TERÄSRAKENTEIDEN LIITOSTEN MITOITUS	10
2.1 Eurokoodi	10
2.2 Mitoitettava liitos	10
2.2.1 Ruuviryhmän leikkauskestävyys	12
2.2.2 Liitoslevyn reunapuristuskestävyys	13
2.2.3 Liitoslevyn leikkauskestävyys	14
2.2.4 Liitoslevyn palamurtuminen	15
2.2.5 Liitoslevyn taivutuskestävyys.....	16
2.2.6 Liitoslevyn kiepahduskestävyys	17
2.2.7 Liitoslevyn nurjahduskestävyys.....	19
2.2.8 Palkin uuman reunapuristuskestävyys	19
2.2.9 Palkin leikkauskestävyys.....	20
2.2.10 Palkin uuman palamurtuminen	21
2.2.11 Yhdistetty taivutus-, leikkaus- ja normaalivoimakestävyys kiinnittimien kohdalla	22
2.2.12 Yhdistetty taivutus-, leikkaus- ja normaalivoimakestävyys palkin leikkauksen kohdalla.....	23
2.2.13 Palkin paikallinen leikkautuminen.....	24
2.2.14 Palkin lävistysleikkautuminen	25
2.2.15 Liitoslevyn hitsien jännitykset	26
3 TEKLA TEDDS	27
3.1 Ohjelman käyttöönotto	28
3.2 Laskelmien laatiminen	28
3.3 Laskelmakirjasto	30
3.4 Interface Designer Pro.....	30
3.5 Calc Designer Pro	32
3.6 Aktiivinen piirustus	33
3.7 Listat.....	35

4 PALSTALEVYLIITOSLASKURI.....	38
4.1 Rakenne	38
4.2 Laskelmat.....	39
4.2.1 Parametrit.....	39
4.2.2 Terästaulukot	39
4.2.3 Mitoituslaskelmat.....	40
4.3 Interface	41
4.4 Laskelmien kokoaminen.....	44
5 LASKELMIEN VERIFIOINTI.....	46
6 TULOKSIEN TARKASTELU.....	48
6.1 Liitoslaskennan tulokset	48
6.2 Ajankäyttö.....	49
6.3 Vertailu	50
7 YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUKSEN AIHEET.....	53
7.1 Yhteenveto	53
7.2 Jatkotutkimuksen aiheet	53
LÄHDELUETTELO.....	55
LIITTEET.....	

MERKINNÄT JA LYHENTEET

A	ruuvien poikkipinta-ala
$A_{nt.1}$	vedon rasittama nettopinta-ala keskeiselle kuormalle
$A_{nt.2}$	vedon rasittama nettopinta-ala epäkeskeiselle kuormalle
$A_{nv.1}$	leikkauksen rasittama nettopinta-ala keskeiselle kuormalle
$A_{nv.2}$	leikkauksen rasittama nettopinta-ala epäkeskeiselle epäkuormalle
$A_{nt.b1}$	vedon rasittama nettopinta-ala palkin liitosalueella keskeiselle kuormalle
$A_{nt.b2}$	vedon rasittama nettopinta-ala palkin liitosalueella epäkeskeiselle kuormalle
$A_{nv.b1}$	leikkauksen rasittama nettopinta-ala palkin liitosalueella keskeiselle kuormalle
$A_{nv.b2}$	leikkauksen rasittama nettopinta-ala palkin liitosalueella epäkeskeiselle kuormalle
A_v	palkin uuman pinta-ala
$A_{v.b}$	palkin leikkauspinta-ala
$A_{v.b.net}$	palkin nettoleikkauspinta-ala
$A_{v.net}$	palkin uuman nettopinta-ala
$A_{v.p.net}$	liitoslevyn nettopinta-ala
$A_{v.p}$	liitoslevyn poikkipinta-ala
$F_{b.Rd}$	palkin uuman reunapuristuskestävyys
$F_{p.Rd}$	liitoslevyn reunapuristuskestävyys
F_R	leikkausvoima ruuvia kohden
$F_{v.Rd}$	ruuvien leikkauskestävyys leikettä kohden
L_j	liitoksen äärimmäisten kiinnittimien keskiöiden välinen etäisyys
$M_{y.Ed.1}$	vahvemman suunnan taivutusmomentin mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla
$M_{y.Ed.2}$	vahvemman suunnan taivutusmomentin mitoitusarvo leikkauksen kohdalla
$M_{z.Ed.1}$	heikomman suunnan taivutusmomentin mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla
$M_{z.Ed.2}$	heikomman suunnan taivutusmomentin mitoitusarvo leikkauksen kohdalla

$M_{y,Rd.1}$	palkin uuman vahvemman suunnan taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla
$M_{y,Rd.2}$	palkin uuman vahvemman suunnan taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo leikkauksen kohdalla
$M_{z,Rd.1}$	palkin uuman heikomman suunnan taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla
$M_{z,Rd.2}$	palkin uuman heikomman suunnan taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo leikkauksen kohdalla
$M_{y,Rd.p}$	liitoslevyn vahvemman suunnan taivutuskestävyyden mitoitusarvo
N_{Ed}	normaalivoiman mitoitusarvo
$N_{pb,Rd}$	nurjahduskestävyyden mitoitusarvo
$N_{u,Rd.b.1}$	palkin uuman nurjahduskestävyys kiinnittimien kohdalla
$N_{u,Rd.b.2}$	palkin uuman nurjahduskestävyys leikkauksen kohdalla
$V_{eff,Rd.1}$	palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo keskeiselle kuormalle
$V_{eff,Rd.2}$	palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo epäkeskeiselle kuormalle
$V_{eff,Rd.b1}$	palkin uuman palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo keskeiselle kuormalle
$V_{eff,Rd.b2}$	palkin uuman palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo epäkeskeiselle kuormalle
$V_{Ed.y}$	leikkausvoiman mitoitusarvo y-akselin suunnassa
$V_{Ed.z}$	leikkausvoiman mitoitusarvo z-akselin suunnassa
$V_{Rd.3}$	liitoslevyn leikkauskestävyys
$V_{Rd.6}$	liitoslevyn kiepahduskestävyys
$V_{Rd.9}$	palkin leikkauskestävyys
$V_{Rd.13}$	paikallisen leikkauskestävyyden mitoitusarvo
$V_{Rd.14}$	palkin lävistysleikkauskestävyyden mitoitusarvo
$V_{Rd.15}$	liitoslevyn hitsin mitoituskestävyys
$W_{y,el.p}$	liitoslevyn kimmoinen taivutusvastus vahvemmassa suunnassa
a	hitsin a-mitta
a_b	reunapuristuskestävyyden kerroin
d	ruuvien halkaisija
d_0	on ruuvinreiän halkaisija
f_u	liittyvien osien alempi murtolujuus
f_{ub}	ruuvien murtolujuus

$f_{u,b}$	palkin murtolujuus
$f_{u,p}$	liitoslevyn murtolujuus
$f_{y,b}$	palkin myötölujuus
$f_{y,p}$	liitoslevyn myötölujuus
h_p	liitoslevyn korkeus
k_1	reunapuristuskestävyyden kerroin
n_1	ruuvien lukumäärä pystysuunnassa
t_p	liitoslevyn paksuus
t_w	palkin uuman paksuus
x_0	leikkausvoiman epäkeskisyys
x_p	etäisyys liittyttävän palkin uumasta reunimmaisiin kiinnittimen reikiin

α_v	ruuvien leikkauskestävyyden pienennyskerroin
β_{Lf}	ruuviryhmän leikkauskestävyyden pienennyskerroin
β_w	teräslajista riippuva korrelaatiokerroin
χ	nurjahduskestävyyden pienennyskerroin
χ_{LT}	kiepahduskestävyyden pienennyskerroin
γ_{M0}	kestävyyden osavarmuysluku
γ_{M1}	kestävyyden osavarmuysluku
γ_{M2}	kestävyyden osavarmuysluku

1 JOHDANTO

Rakenteiden suunnittelussa käytetään monenlaisia laskentaohjelmia. Teräsrakenteita mitoitettaessa käytettävien mitoitusohjelmien rinnalla tarvitaan usein laskentapohjia. Näihin laskentapohjiin tehdään yksityiskohtien, esimerkiksi teräsrakenteiden liitoksien mitoittamisessa tarvittavat laskelmat. Näiden laskelmien käytettävyys, käytön automatisointi, selkeys ja dokumentoinnin helppous vaikuttavat suuresti liitoslaskentatyön tehokkuuteen. Tämän diplomityön aiheena on tutkia yhden ohjelmiston soveltuvuutta teräsrakenteiden liitossuunnitteluun. Työssä selvitetään, kuinka paljon rakennesuunnittelijalta kuluu aikaa tehdä jouhevasti toimiva, liitoslaskentaan sopiva laskentatyökalu kyseisellä ohjelmistolla. Valmiiden laskentapohjien käytettävyyttä ja ominaisuuksia voidaan verrata markkinoilla oleviin ohjelmiin. Näin voidaan arvioida kyseiseen ohjelmistoon investoinnin työtä tehostava vaikutus ja kannattavuus.

Tässä työssä tutkitaan suunnitteluun liittyvän rakenneyksityiskohdan laskentapohjan luomiseen vaadittavaa ohjelmistoon perehtymistä sekä prosessiin kuluva aikaa. Ohjelmalla tehdään Eurokoodin liitoslaskentastandardien mukainen laskentapohja. Laskentapohjan suunnittelu, toteutus ja siihen kuluva aika dokumentoidaan.

Työn tutkimusongelmana on tapaustutkimus yhden tyypillisen teräsrakentamisessa käytettävän palkkiliitoksen laskentapohjan luomisesta. Tämän liitoksen mitoitusohjeet ovat työn teoriaosa. Liitoslaskennan tuloksia vertaillaan FEM-laskentaan.

Työ rajataan teräsrakentamiseen ja eurokoodin mukaisiin liitoslaskelmiin. Työssä tarkastellaan yhtä liitostyyppiä, josta esitellään 15 murtotapaustarkistusta. Luodun laskentapohjan käytettävyyden täytyy olla mahdollisimman tehokas varsinaista suunnittelutyötä ajatellen.

2 TERÄSRAKENTEIDEN LIITOSTEN MITOITUS

2.1 Eurokoodi

Rakenteiden suunnittelussa tulee noudattaa kansallista suunnitteluohjetta, jonka Suomessa määrää Ympäristöministeriö. Kantavien ja jäykistävien rakenteiden olennaiset tekniset vaatimukset saadaan täytettyä, kun rakenteet suunnitellaan eurokoodien sekä teräsrakentamisen osalta ympäristöministeriön asetuksina annettujen kansallisten lisävaatimusten mukaan (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132).

Vuonna 1975 Euroopan yhteisössä päätettiin rakentamiseen kohdentuvasta toimenpideohjelmasta, jonka tavoitteena oli maa- ja vesirakentamisen kohteiden suunnittelun yhdenmukaistaminen kaikissa jäsenvaltioissa. Tämän päätöksen pohjalta päätettiin luoda rakentamiselle yhdenmukaistetut säännöt, jotka aluksi toimisivat vaihtoehtoisina suunnitteluohjeina olemassa oleville kansallisille säännöille ja lopulta korvaisivat ne kokonaan (SFS-EN 1993-1-1). Suomessa eurokoodisuunnittelustandardien käyttö alkoi 1. marraskuuta 2007.

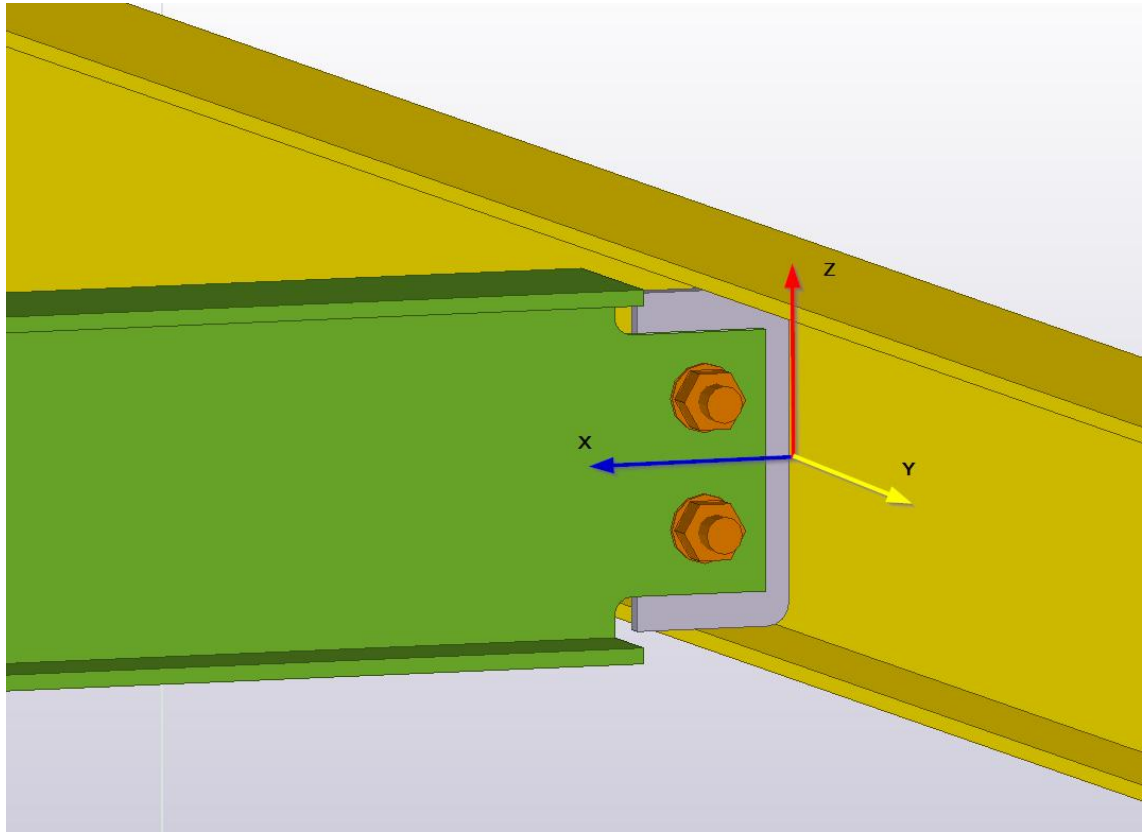
Liitosten suunnittelua käsittelee Eurokoodin osa EN-1993-1-8, jossa esitetään pääasiassa staattisesti kuormitettujen liitosten mitoitusta. Standardissa käsitellään liitoksia, joiden teräslaatu on S235, S275, S355, S420, S450 tai S460 (SFS-EN 1993-1-8).

Eurokoodin liitossuunnitteluosa antaa kuitenkin suunnitteluohjeet vain yksittäisiin murtotapauksiin. Eurokoodissa on määritelty tarkkaan, miten rakenneosat siirtävät taivutusmomenttia, mutta voimien siirtymistä liitososien välillä ei ole määritelty kovin tarkasti. Näiden puutteiden vuoksi on luotu eurokoodin pohjalta suosituksia niiden tapausten mitoittamiseen, joita ei eurokoodissa ole käsitelty (European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures).

2.2 Mitoitettava liitos

Tutkittavaksi tapaukseksi työssä on valittu kuvan 1 mukainen poskilevyliitos. Tämä liitostyyppi on yleisesti käytössä teräsrakentamisessa teollisuuden kohteissa tasopalkkitapauksissa, joissa tarvitaan nivelellinen liitos. Kuvan 1 vihreän liittyvän palkin laipat kolotaan, jotta ruuvirivi saadaan mahdollisimman lähelle liityttävää keltaista

palkkia. Näin liitos aiheuttaa vain vähän momenttiepäkeskisyyttä. Liittyttävään palkkiin hitsataan levy, joka kiinnitetään ruuveilla liittyvän palkin uumaan. Poskilevyliitoksen etuja ovat yksinkertaisuus ja helppo asennettavuus. Heikkoutena voidaan pitää liittyvän palkin osittain leikatun poikkileikkauksen huonoa vaakavoimien kestävyyttä.



Kuva 1. Poskilevyliitos.

Liitoksesta tarkistetaan 15 eri murtotapausta, joiden teoriaosuus on koostettu eri lähteistä. Nämä tapaukset on katsottu välttämättömäksi tarkistaa poskilevyliitoksen mitoittamisessa. Liitos toimii laskelmissa nivelliitoksena, ja sitä kuormittaa kuvassa 1 esitetyn x-akselin suuntainen normaalivoima N_{Ed} , sekä y ja z-akselien suuntaiset leikkausvoimat $V_{Ed,y}$ ja $V_{Ed,z}$. Tämä liitostyyppi soveltuu rakennetapauksiin, jossa vaakasuuntainen leikkausvoima $V_{Ed,y}$ on pieni. Näin vaakaleikkausta ei huomioida kuin osassa mitoitus tapauksista.

Liitoksessa on muodonmuutoskykynsä perusteella sitkeitä ja hauraita osia. Sitkeitä komponentteja ovat esimerkiksi taivutettu levy ja leikkauksen kuormittama uuma. Hauraita osia ovat puolestaan esimerkiksi hitsit ja vedon tai leikkauksen kuormittavat ruuvit. Mitoitettava liitos on suositeltavaa mitoittaa siten, että hauraksi luokitellut osat

ovat ylilujia, niin että liitoksen kestävyys määräytyy sitkeiksi luokiteltujen liitososien perusteella (Ongelin & Valkonen 2010, s. 306).

Mitoituslaskelmissa kestävyiden osavarmuusluvut määrittävät liitososan käyttäytymisen murtotapauksessa. Liitososan kestävyys hauraan murtumisen suhteen lasketaan γ_{M2} osavarmuudella, jolloin kyseinen tarkastus ei saa olla mitoittamisessa määräävänä. γ_{M1} osavarmuuslukua käytetään tapauksissa, jossa tarkastellaan liitososia stabiiliuden menettämisen suhteen. Tällöin mitoituskohta tulee hauraan murtumisen tavoin mitoittaa ylilujaksi. Sitkeiden liitososien mitoittamisessa käytetään γ_{M0} osavarmuutta (Ongelin & Valkonen 2010, taulukko 2.5). Liitoslaskentapohjan käyttäjän vastuulle jää suunnitella liitos siten, että sitkeän liitososan myöntäminen on valmiissa liitoslaskelmassa määräävänä.

2.2.1 Ruuviryhmän leikkauskestävyys

Liitos on yksileikkeinen, ja siinä on vain yksi ruuvirivi. Tässä työssä käytetään lujuusluokkien 8.8 ja 10.9 M16-M24 pultteja, joiden yhteydessä käytetään karkaistuja aluslevyjä sekä ruuvinkannan että mutterin alla (SFS EN 1993-1-8, s. 26).

Ruuviryhmän leikkauskestävyys lasketaan yksittäisten ruuvien leikkauskestävyyksien summana. Yksittäiselle ruuville tulevan leikkausvoiman tulee täyttää ehto

$$\frac{F_R}{\beta_{Lf} * F_{v.Rd}} \leq 1, \quad (1)$$

missä F_R on leikkausvoima ruuvia kohden,

β_{Lf} ruuviryhmän leikkauskestävyyden pienennyskerroin ja

$F_{v.Rd}$ on ruuvien leikkauskestävyys leikettä kohden (Kaitila 2010, s. 94).

Yksittäisen ruuvien leikkauskestävyys, kun ruuvien kierteet eivät ole leikkaustasossa esitetään kaavalla

$$F_{v.Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}}, \quad (2)$$

missä A on ruuvin poikkipinta-ala,
 f_{ub} on ruuvin murtolujuus,
 α_v on ruuvin leikkauskestävyyden pienennyskerroin ja
 γ_{M2} on kestävyysosavarmuusluku (SFS EN 1993-1-8, taulukko 3.4).

Mikäli ruuvien kierteet ovat leikkaustasossa, käytetään ruuvien poikkipinta-alan tilalta jännityspoikkipinta-alaa, jossa kierteen pinta-alavähennys on huomioitu (SFS EN 1993-1-8, taulukko 3.4).

Mikäli liitoksen kauimmaisten kiinnittimien keskiöiden välinen etäisyys on suurempi kuin 15 kertaa ruuvien halkaisija, käsitellään tätä pitkänä liitoksena. Pitkässä liitoksessa jokaisen kaavan (2) mukaisen ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvoa pienennetään pienennystekijällä

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \cdot d}{200 \cdot d} \quad \text{ja} \quad (3)$$

$$\beta_{Lf} \leq 1,0 \quad \text{ja} \quad \beta_{Lf} \geq 0,75, \quad (4)$$

missä L_j on liitoksen äärimmäisten kiinnittimien keskiöiden välinen etäisyys ja d on ruuvien halkaisija (SFS EN 1993-1-8, s. 31).

2.2.2 Liitoslevyn reunapuristuskestävyys

Reunapuristuskestävyyden tulee täyttää ehto

$$\frac{F_R}{F_{p.Rd}} \leq 1, \quad (5)$$

missä $F_{p.Rd}$ on liitoslevyn reunapuristuskestävyys ja
 F_R on leikkausvoima ruuvia kohden (Kaitila 2010, s. 94).

Reunapuristuskestävyys on

$$F_{p.Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_{u.p} \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}}, \quad (6)$$

missä k_1 ja a_b ovat ruuvien reunapuristuskestävyyden kertoimia,
 d on ruuvin halkaisija,
 $f_{u,p}$ on liitoslevyn murtolujuus,
 t_p on liitoslevyn paksuus ja
 γ_{M2} on kestävyysosavarmuusluku (SFS EN 1993-1-8, taulukko 3.4).

Tarkasteltava liitos on yksileikkeinen, jossa liittyttävien osien taipuminen lisää jännitysten epätasaista jakaumaa ruuvinrei'issä. Yhden ruuvirivin yksileikkeisissä päällekkäisliitoksissa reunapuristuskestävyys rajoitetaan yhtälöllä

$$F_{p.Rd} \leq \frac{1,5 * f_{u,p} * d * t_p}{\gamma_{M2}} \quad (7)$$

(Kaitila 2010, s. 95).

2.2.3 Liitoslevyn leikkauskestävyys

Liitoslevyn leikkauskestävyyden tulee täyttää ehto

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,3}} \leq 1, \quad (8)$$

missä $V_{Ed,z}$ on pystysuuntaisen leikkausvoiman mitoitusarvo ja
 $V_{Rd,3}$ on liitoslevyn leikkauskestävyys (SFS EN 1993-1-1, s. 54).

Liitoslevyn leikkauskestävyyden mitoitusarvo on pienempi seuraavista. Brutto poikkileikkauksen pienennyskerroin 1,27 ottaa huomioon taivutusmomentin leikkausvoimakestävyydessä. Leikkauskestävyys bruttopoikkileikkaukselle on

$$V_{Rd,3} = \frac{h_p * t_p}{1,27} * \frac{f_{y,p}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \quad (9)$$

ja nettopoikkileikkaukselle

$$V_{Rd,3} = A_{v,p.net} * \frac{f_{u,p}}{\sqrt{3} * \gamma_{M2}}, \quad (10)$$

missä $A_{v,p.net}$ on liitoslevyn nettopinta-ala,
 h_p on liitoslevyn korkeus,
 $f_{y,p}$ on liitoslevyn myötölujuus,
 $f_{u,p}$ on liitoslevyn murtolujuus,
 t_p on liitoslevyn paksuus,
 γ_{M0} on kestävyysosavarmuusluku ja
 γ_{M2} on kestävyysosavarmuusluku (Access Steel SN017a-EN-EU, s. 6).

Liitoslevyn nettopinta-ala lasketaan kaavalla

$$A_{v.net} = t_p * (h_p - n_1 * d_0), \quad (11)$$

missä n_1 on ruuvien lukumäärä pystysuunnassa,
 d_0 on ruuvinreiän halkaisija ja
 t_p on liitoslevyn paksuus (Access Steel SN017a-EN-EU, s. 6).

2.2.4 Liitoslevyn palamurtuminen

Palamurtuminen tulee kysymykseen, kun käytetään pieniä ruuvien reunaetäisyyksiä ja korkeaa teräslujuutta. Palamurtumisen mitoitusarvon tulee täyttää ehto

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff.Rd.1}} + \frac{V_{Ed.z}}{V_{eff.Rd.2}} \leq 1, \quad (12)$$

missä $V_{Ed.z}$ on pystysuuntaisen leikkausvoiman mitoitusarvo,
 N_{Ed} on normaalivoiman mitoitusarvo,
 $V_{Rd.3}$ on liitoslevyn leikkauskestävyys,
 $V_{eff.Rd.1}$ on palamurtumiskestävyysmitoitussarvo keskeiselle kuormalle ja
 $V_{eff.Rd.2}$ on palamurtumiskestävyysmitoitussarvo epäkeskeiselle kuormalle (Ongelin & Valkonen 2010, s. 341).

Palamurtumiskestävyysmitoittamisessa keskeisellä kuormalla tarkoitetaan normaalivoiman kuormittamaa, ja epäkeskeisellä kuormalla leikkausvoiman kuormittamaa tapausta. Todellisuudessa täytyy usein huomioida molempien tapauksien

yhdistelmä kaavan (12) mukaisesti. Palamurtumiskestävyyden mitoitusyhtälöt ovat keskeiselle kuormalle

$$V_{eff.Rd.1} = \frac{f_{u.p} * A_{nt.1}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} * \frac{f_{y.p} * A_{nv.1}}{\gamma_{M0}} \quad (13)$$

ja epäkeskeiselle kuormalle

$$V_{eff.Rd.2} = \frac{0.5 * f_{u.p} * A_{nt.2}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} * \frac{f_{y.p} * A_{nv.2}}{\gamma_{M0}}, \quad (14)$$

missä $f_{y.p}$ on liitoslevyn myötölujuus,
 $f_{u.p}$ on liitoslevyn murtolujuus,
 $A_{nt.1}$ on vedon rasittama nettopinta-ala keskeiselle kuormalle,
 $A_{nt.2}$ on vedon rasittama nettopinta-ala epäkeskeiselle kuormalle,
 $A_{nv.1}$ on leikkauksen rasittama nettopinta-ala keskeiselle kuormalle,
 $A_{nv.2}$ on leikkauksen rasittama nettopinta-ala epäkeskeiselle kuormalle,
 γ_{M0} on kestävyiden osavarmuusluku ja
 γ_{M2} on kestävyiden osavarmuusluku (SFS EN 1993-1-8, s. 34).

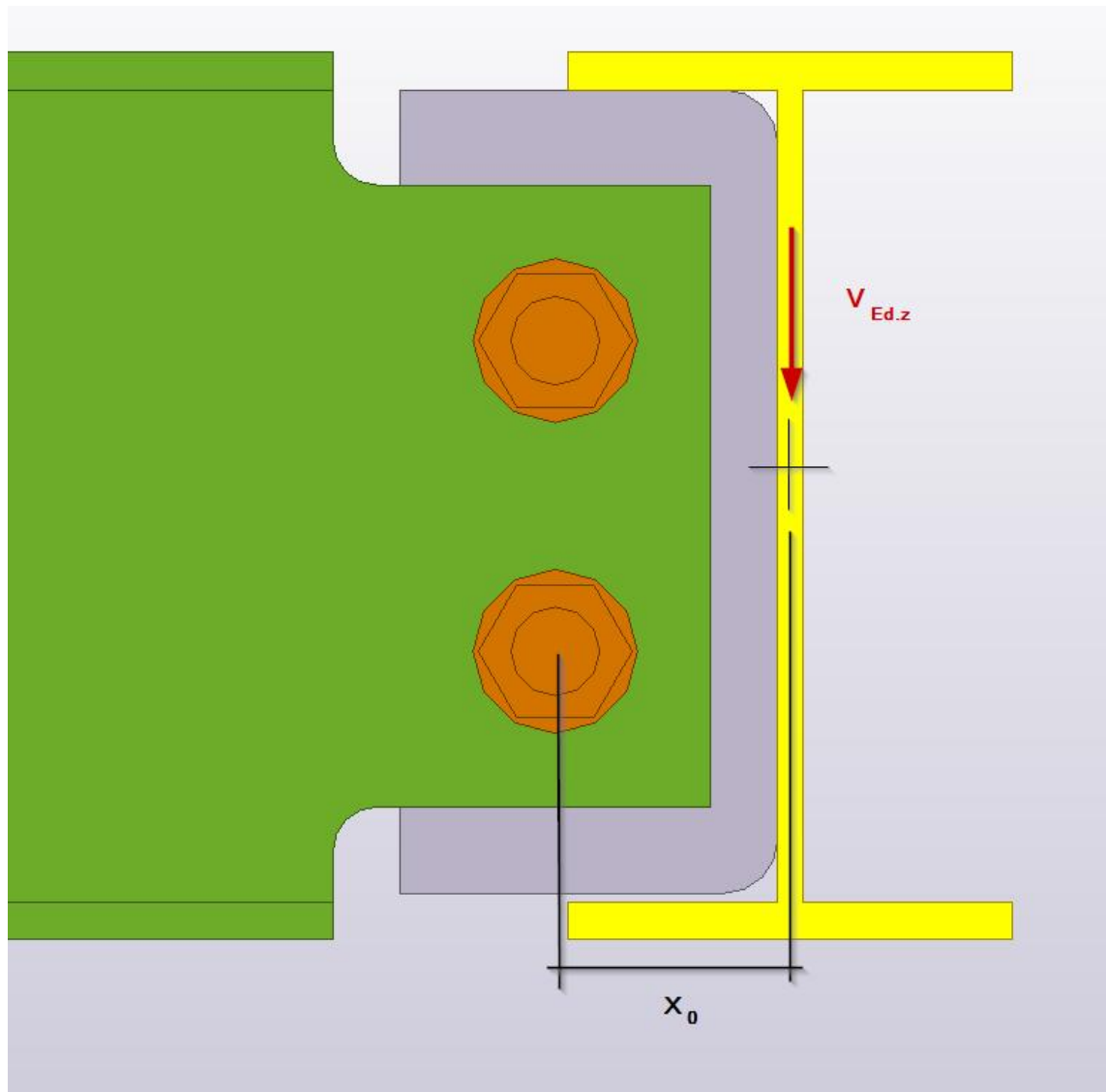
2.2.5 Liitoslevyn taivutuskestävyys

Liitoslevyn taivutuskestävyyden tulee täyttää ehto

$$\frac{M_{y.Ed.1}}{M_{y.Rd.p}} \leq 1, \quad (15)$$

missä $M_{y.Ed.1}$ on vahvemman suunnan taivutusmomentin mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla ja
 $M_{y.Rd.p}$ on liitoslevyn vahvemman suunnan taivutuskestävyyden mitoitusarvo (SFS-EN1993-1-1, s. 53).

Liitoslevy ajatellaan ulokepalkkina, joka on kiinteästi kiinnitetty liityttävän palkin uumaan. Taivutusmomentin mitoitusarvo lasketaan kuvan 2 mukaisesti leikkausvoiman mitoitusarvosta epäkeskisyyden x_0 päässä palkin keskikohdasta.



Kuva 2. Leikkausvoiman epäkeskisyys.

Taivutusmomenttikestävyys lasketaan yhtälöllä

$$M_{y.Rd.p} = \frac{W_{y.el.p} * f_{y.p}}{\gamma_{M0}}, \quad (16)$$

missä $W_{y.el.p}$ on liitoslevyn kimmoinen taivutusvastus vahvemmassa suunnassa,
 $f_{y.p}$ on liitoslevyn myötölujuus ja
 γ_{M0} on kestävyysosavarmuysluku (SFS-EN1993-1-1, s. 53).

2.2.6 Liitoslevyn kiepahduskestävyys

Kiepahduskestävyyden mitoitusarvon tulee noudattaa ehtoa

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,6}} \leq 1, \quad (17)$$

missä $V_{Ed,z}$ on pystysuuntaisen leikkausvoiman mitoitusarvo ja
 $V_{Rd,6}$ on liitoslevyn kiepahduskestävyyden mitoitusarvo (Simple Joints to Eurocode 3, s. 119).

Levy määritellään pitkäksi ja kiepahduskestävyyden mitoitusarvo lasketaan yhtälön (19) mukaan, mikäli seuraava yhtälö toteutuu:

$$x_p > \frac{t_p}{0,15}, \quad (18)$$

missä x_p on etäisyys liittyttävän palkin uumasta reunimmaisiiin kiinnittimien reikiin ja
 t_p on liitoslevyn paksuus (Simple Joints to Eurocode 3, s.119).

Mikäli ehto ei toteudu, levyn mitoitus tapahtuu yhtälön (20) mukaisesti.

Kiepahduskestävyyden mitoitusarvo pitkälle liitoslevylle

$$V_{Rd,6} = \frac{W_{y.el.p}}{x_0} * \frac{\chi_{LT} * f_{y.p}}{\gamma_{M1}}, \quad (19)$$

ja lyhyelle liitoslevylle

$$V_{Rd,6} = \frac{W_{y.el.p}}{x_0} * \frac{f_{y.p}}{\gamma_{M0}}, \quad (20)$$

missä $W_{y.el,p}$ on liitoslevyn kimmainen taivutusvastus vahvemmassa suunnassa,
 $f_{y,p}$ on liitoslevyn myötölujuus,
 x_0 on leikkausvoiman epäkeskisyys,
 γ_{M0} on kestävyiden osavarmuusluku,
 γ_{M1} on kestävyiden osavarmuusluku ja
 χ_{LT} on kiepahduskestävyyden pienennyskerroin (Simple Joints to Eurocode 3, s. 119).

2.2.7 Liitoslevyn nurjahduskestävyys

Nurjahduskestävyyden vaatimus on

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pb.Rd}} \leq 1 \quad (21)$$

missä N_{Ed} on normaalivoiman mitoitusarvo ja

$N_{pb.Rd}$ on liitoslevyn nurjahduskestävyys (SFS EN 1993-1-1, s. 61).

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo on

$$N_{pb.Rd} = \frac{\chi * A_{v.p} * f_{y.p}}{\gamma_{M1}}, \quad (22)$$

missä $A_{v.p}$ on liitoslevyn poikkipinta-ala,

$f_{y.p}$ on liitoslevyn myötölujuus,

γ_{M1} on kestävyiden osavarmuusluku ja

χ on nurjahduskestävyyden pienennyskerroin (SFS EN 1993-1-1, s. 61).

2.2.8 Palkin uuman reunapuristuskestävyys

Palkin uuman reunapuristuskestävyyden tulee täyttää ehto

$$\frac{F_R}{F_{b.Rd}} \leq 1, \quad (23)$$

missä $F_{b.Rd}$ on palkin uuman reunapuristuskestävyys ja

F_R on leikkausvoima ruuvia kohden (Kaitila 2010, s. 94).

Liittyvän palkin uuman reunapuristuskestävyys ja yksileikkeisen päällekkäisliitoksen reunapuristuskestävyyden rajoitusyhtälö uumalle lasketaan samalla tavalla kuin liitoslevylle:

$$F_{b.Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_{u.b} * d * t_w}{\gamma_{M2}} \text{ ja} \quad (24)$$

$$F_{b.Rd} \leq \frac{1,5 * f_{u.b} * d * t_w}{\gamma_{M2}}, \quad (25)$$

missä k_1 ja a_b ovat ruuvien reunapuristuskestävyyden kertoimia,
 d on ruuvin halkaisija,
 $f_{u.b}$ on palkin murtolujuus,
 t_w on palkin uuman paksuus ja
 γ_{M2} on kestävyiden osavarmuusluku (SFS EN 1993-1-8, taulukko 3.4).

2.2.9 Palkin leikkauskestävyys

Liitoslevyn leikkauskestävyyden tulee täyttää ehto

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,9}} \leq 1, \quad (26)$$

missä $V_{Ed,z}$ on pystysuuntaisen leikkausvoiman mitoitusarvo ja
 $V_{Rd,9}$ on palkin leikkauskestävyys (SFS EN 1993-1-1, s. 54).

Palkin leikkauskestävyys on pienempi brutto- ja nettopoikkileikkauksen mitoituskestävyyksistä:

$$V_{Rd,9} = A_{v.b} * \frac{f_{y.b}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \text{ ja} \quad (27)$$

$$V_{Rd,9} = A_{v.b.net} * \frac{f_{u.b}}{\sqrt{3} * \gamma_{M2}}, \quad (28)$$

missä $A_{v.b}$ on palkin leikkauspinta-ala,
 $A_{v.b.net}$ on palkin nettoleikkauspinta-ala,
 $f_{u.b}$ on palkin murtolujuus,
 $f_{y.b}$ on palkin myötölujuus,
 γ_{M0} on kestävyiden osavarmuusluku ja
 γ_{M2} on kestävyiden osavarmuusluku (Access Steel SN017a-EN-EU, s. 9).

2.2.10 Palkin uuman palamurtuminen

Palkin uuman palamurtumisen mitoitusarvon tulee täyttää ehto

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff.Rd.b1}} + \frac{V_{Ed.z}}{V_{eff.Rd.b2}} \leq 1, \quad (29)$$

missä $V_{Ed.z}$ on pystysuuntaisen leikkausvoiman mitoitusarvo,
 N_{Ed} on normaalivoiman mitoitusarvo,
 $V_{eff.Rd.b1}$ on palkin palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo keskeiselle kuormalle ja
 $V_{eff.Rd.b2}$ on palkin palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo epäkeskeiselle kuormalle (Ongelin & Valkonen 2010, s. 341).

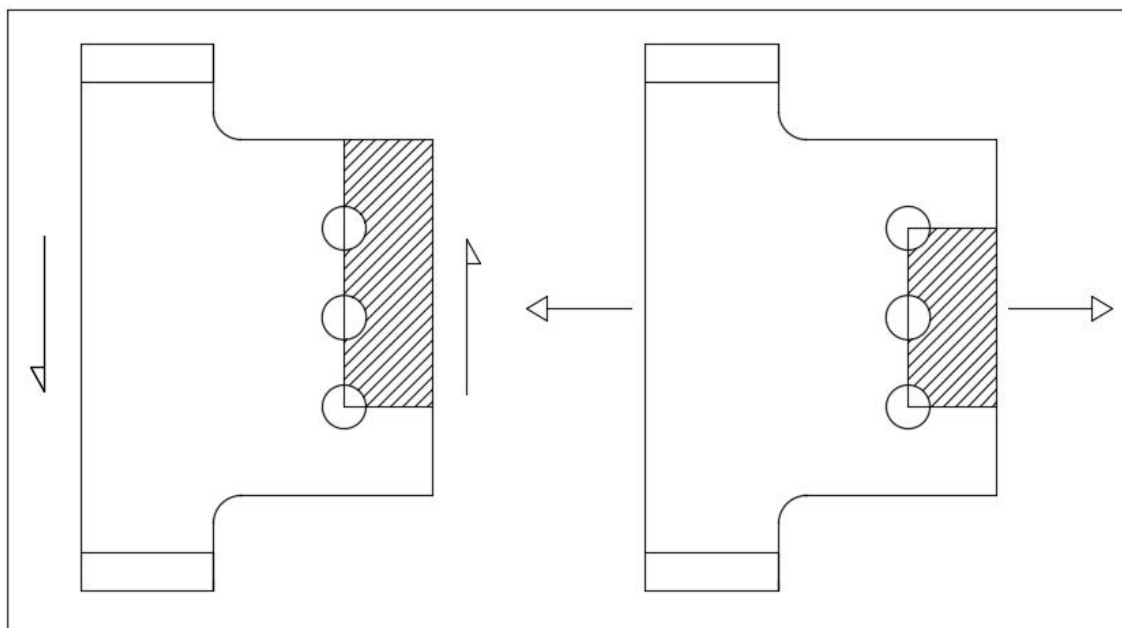
Palkin uuman palamurtuminen on esitetty kuvassa 3. Palamurtumiskestävyyden mitoitusyhtälöt ovat keskeiselle kuormalle

$$V_{eff.Rd.1} = \frac{f_{u.b} * A_{nt.b1}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} * \frac{f_{y.b} * A_{nv.b1}}{\gamma_{M0}}, \quad (30)$$

ja epäkeskeiselle kuormalle

$$V_{eff.Rd.2} = \frac{0.5 * f_{u.p} * A_{nt.b2}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} * \frac{f_{y.p} * A_{nv.b2}}{\gamma_{M0}}, \quad (31)$$

missä $A_{nt.b1}$ on vedon rasittama nettopinta-ala palkin liitosalueella keskeiselle kuormalle,
 $A_{nt.b2}$ on vedon rasittama nettopinta-ala palkin liitosalueella epäkeskeiselle kuormalle,
 $A_{nv.b1}$ on leikkauksen rasittama nettopinta-ala palkin liitosalueella keskeiselle kuormalle,
 $A_{nv.b2}$ on leikkauksen rasittama nettopinta-ala palkin liitosalueella epäkeskeiselle kuormalle,
 $f_{y.b}$ on palkin myötölujuus,
 $f_{u.b}$ on palkin murtolujuus,
 γ_{M0} on kestävyiden osavarmuusluku ja
 γ_{M2} on kestävyiden osavarmuusluku (SFS EN 1993-1-8, s. 34).



Kuva 3. Palkin uuman palamurtuminen.

2.2.11 Yhdistetty taivutus-, leikkaus- ja normaalivoimakestävyys kiinnittimien kohdalla

Tarkastelu tehdään liittyvän palkin uuman ruuvirivien kohdalla, jolloin uuman reiät huomioidaan normaalivoima- ja taivutuskestävyydessä. Reikiä ei tarvitse huomioida taivutusmomentti- ja normaalivoimakestävyydessä, mikäli seuraava ehto täyttyy

$$\frac{0,9 * A_{v.net} * f_{u.b}}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_{v.b} * f_{y.b}}{\gamma_{M0}}, \quad (32)$$

missä $A_{v.b}$ on palkin uuman pinta-ala,

$A_{v.net}$ on palkin uuman nettopinta-ala,

$f_{u.b}$ on palkin murtolujuus,

$f_{y.b}$ on palkin myötölujuus,

γ_{M0} on kestävyysosavarmuusluku ja

γ_{M2} on kestävyysosavarmuusluku (Ongelin & Valkonen 2010, s. 102 ja s. 125).

Mikäli kaavan (32) ehto ei täyty, pienennetään mitoituslaskelmassa uuman poikkipinta-alaa niin, että ehto täyttyy. Näin liitoksen voidaan olettaa käyttäytyvän sitkeästi murtotilanteessa.

Taivutusmomentin mitoitusarvot saadaan leikkausvoimista $V_{Ed,y}$ ja $V_{Ed,z}$ laskemalla ne epäkeskisyyden avulla palkin keskeltä, kuten kuvassa 2. Palkin uuman taivutusmomenttikestävyys y- ja z-suunnissa lasketaan kaavan (16) ja nurjahduskestävyys kaavan (22) mukaisesti kolotun palkin uuman poikkileikkausarvoilla. Yhdistetyn tilanteen kestävyys tulee täyttää ehto

$$\frac{M_{y.Ed.1}}{M_{y.Rd.1}} + \frac{M_{z.Ed.1}}{M_{z.Rd.1}} + \frac{N_{Ed}}{N_{u.Rd.b.1}} \leq 1, \quad (33)$$

missä $M_{y.Ed.1}$ on vahvemman suunnan taivutusmomentin mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla,
 $M_{z.Ed.1}$ on heikomman suunnan taivutusmomentin mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla,
 $M_{y.Rd.1}$ on vahvemman suunnan taivutusmomenttikestävyys mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla,
 $M_{z.Rd.1}$ on heikomman suunnan taivutusmomenttikestävyys mitoitusarvo kiinnittimien kohdalla,
 N_{Ed} on normaalivoiman mitoitusarvo ja
 $N_{u.Rd.b.1}$ on palkin uuman nurjahduskestävyys kiinnittimien kohdalla (Ongelin & Valkonen 2010, s. 187).

2.2.12 Yhdistetty taivutus-, leikkaus- ja normaalivoimakestävyys palkin leikkauksen kohdalla

Yhdistetyn tapauksen mitoitus leikkauksen kohdalla on kuten kappaleessa 2.2.11, mutta taivutusmomentti- ja normaalivoimakestävyysessä ei tarvitse huomioida reikien aiheuttamia mahdollisia vähennyksiä. Leikkauksen kohdalle syntyy suuremmat taivutusmomentit, koska tarkastelukohta on kauempana liityttävästä palkista. Mitoitusehto kuvassa 4 näytetyn leikkauksen kohdalla on

$$\frac{M_{y.Ed.2}}{M_{y.Rd.2}} + \frac{M_{z.Ed.2}}{M_{z.Rd.2}} + \frac{N_{Ed}}{N_{u.Rd.b.1}} \leq 1 \quad (34)$$

missä $M_{y.Ed.2}$ on vahvemman suunnan taivutusmomentin mitoitusarvo leikkauksen kohdalla,

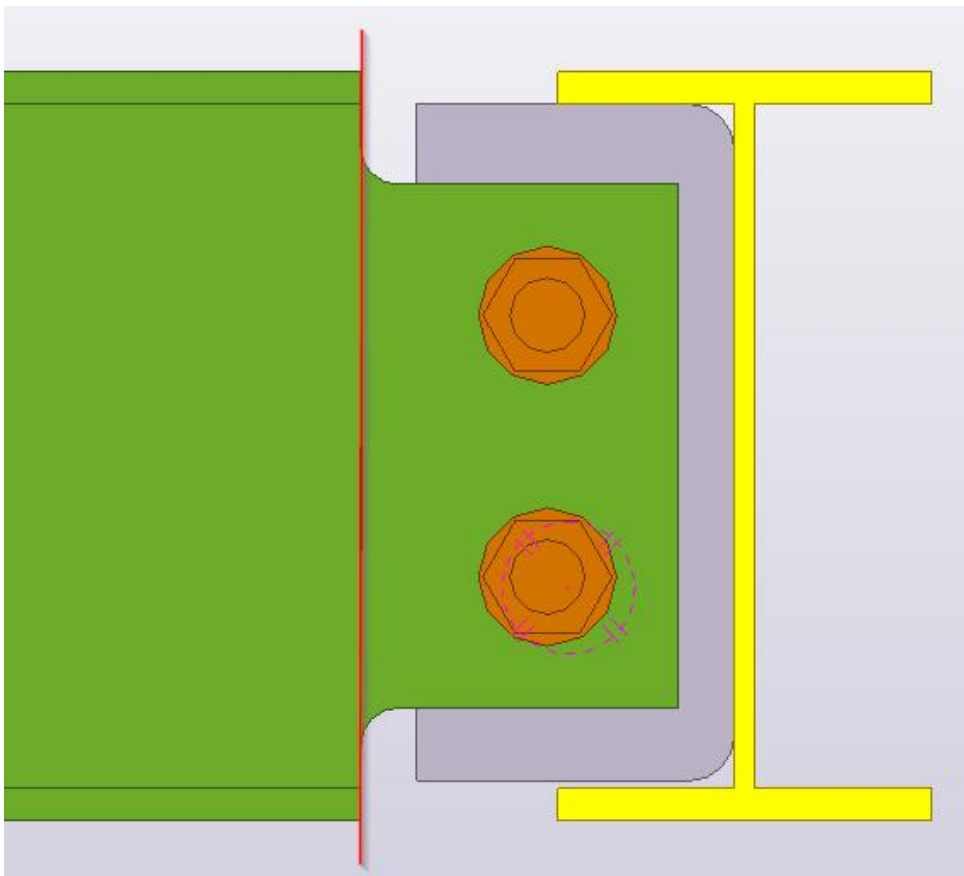
$M_{z.Ed.2}$ on heikomman suunnan taivutusmomentin mitoitusarvo leikkauksen kohdalla,

$M_{y.Rd}$ on vahvemman suunnan taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo leikkauksen kohdalla,

$M_{z.Rd}$ on heikomman suunnan taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo leikkauksen kohdalla

N_{Ed} on normaalivoiman mitoitusarvo ja

$N_{u.Rd.b.2}$ on palkin uuman nurjahduskestävyys leikkauksen kohdalla (Ongelin & Valkonen 2010, s. 187).



Kuva 4. Tarkastelukohta yhdistetyn kuorman tapauksessa palkin leikkauksen kohdalla.

2.2.13 Palkin paikallinen leikkautuminen

Leikkauksen mitoitusarvon tulee täyttää ehto

$$\frac{V_{Ed.z}}{V_{Rd.13}} \leq 1, \quad (35)$$

missä $V_{Ed,z}$ on pystysuuntaisen leikkausvoiman mitoitusarvo ja
 $V_{Rd,13}$ on paikallisen leikkauskestävyyden mitoitusarvo (SFS EN 1993-1-1, s. 54).

Paikallisen leikkauskestävyyden mitoitusarvo on pienempi seuraavista:

$$V_{Rd,13} = A_v * \frac{f_{y,b}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \text{ ja} \quad (36)$$

$$V_{Rd,13} = A_{v,net} * \frac{f_{u,b}}{\sqrt{3} * \gamma_{M2}}, \quad (37)$$

missä A_v on palkin uuman pinta-ala,
 $A_{v,net}$ on palkin uuman nettopinta-ala,
 $f_{u,b}$ on palkin murtolujuus,
 $f_{y,b}$ on palkin myötölujuus,
 γ_{M0} on kestävyysosavarmuusluku ja
 γ_{M2} on kestävyysosavarmuusluku (Simple Joints to Eurocode 3, s. 121).

2.2.14 Palkin lävistysleikkautuminen

Lävistysleikkautuminen tarkistetaan liittyttävän palkin uuman osalta seuraavan ehdon mukaisesti

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{Rd,14}} \leq 1, \quad (38)$$

missä $V_{Ed,z}$ on pystysuuntaisen leikkausvoiman mitoitusarvo ja
 $V_{Rd,14}$ on lävistysleikkauskestävyyden mitoitusarvo (SFS EN 1993-1-1, s. 54).

Lävistysleikkauskestävyys saadaan yhtälöstä

$$V_{Rd,14} = \frac{t_w * h_p * f_{u,b}}{6 * x_0}, \quad (39)$$

missä $f_{u,b}$ on palkin murtolujuus,
 h_p on liitoslevyn korkeus,
 t_w on palkin uuman paksuus ja
 x_0 on leikkausvoiman epäkeskisyys (Access Steel SN017a-EN-EU, s. 10).

2.2.15 Liitoslevyn hitsien jännitykset

Hitsien kestävyys tulee täyttää ehto

$$\frac{V_{Ed,y} + V_{Ed,z} + N_{Ed}}{V_{Rd,15}} \leq 1, \quad (40)$$

missä N_{Ed} on normaalivoiman mitoitusarvo,
 $V_{Ed,y}$ on vaakasuuntaisen leikkausvoiman mitoitusarvo,
 $V_{Ed,z}$ on pystysuuntaisen leikkausvoiman mitoitusarvo ja
 $V_{Rd,15}$ on liitoslevyn hitsin mitoituskestävyys (SFS EN 1993-1-8, s. 47).

Liitoslevyn hitsien kestävyys lasketaan siten, että liitoslevy on hitsattu liittyttävän palkin uumaan molemmilta puolilta. Levyn hitsejä liittyttävän palkin laippoihin ei huomioida. Yksinkertaistettu menetelmä kaksoispienahitsin kestävyys määrittämiseksi saadaan muotoon

$$V_{Rd,15} = 2 * h_p * \frac{a * f_u}{\beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}}, \quad (41)$$

missä a on hitsin a-mitta,
 h_p on liitoslevyn korkeus,
 f_u on liittyvien osien alempi murtolujuus,
 β_w on teräslajista riippuva korrelaatiokerroin ja
 γ_{M2} on kestävyys osavarmuuskertoimen luku (SFS EN 1993-1-8, s. 47).

3 TEKLA TEDDS

Tekla Tedds (Tedds) on ohjelmistoyhtiö Trimblen laskentaohjelma. Ohjelma on tarkoitettu toistuvien laskelmien automatisointiin ja -tehostamiseen. Käyttöliittymä mahdollistaa helpon laskelmien dokumentoinnin. Tekla Teddsillä voi käyttää sen kirjastossa olemassa olevia laskentapohjia tai luoda omia laskentapohjia. Tässä säännöllisesti päivittyvässä laskelmakirjastossa on valmiina monenlaisia laskentapohjia betoni-, teräs- ja puurakentamiseen liittyen. Tässä kappaleessa on esitetty vain ohjelman teräsrakenteiden liitossuunnittelussa keskeisiä ja tässä työssä käytettyjä ohjelman toiminnallisuuksia. Tällöin osa ohjelman ominaisuuksista jää esittelemättä.

Ohjelmaa avattaessa valitaan valmiita laskelmia käyttävän kirjaston ja laskelmapohjien kirjoittamiseen tarkoitettun osion välillä. Valmiita laskelmia käytettäessä tulee käyttäjän vain avata haluttu laskentapohja. Tämän jälkeen avautuu laskentapohjiin luotava käyttöliittymä eli interface, jonka avulla laskelman parametreja voidaan muokata ja suorittaa haluttu laskelma. Käyttöliittymän avulla laskentapohjan käyttö on selkeää, koska nähtävissä on vain laskennassa tarvittavia muutettavia arvoja ja niihin liittyviä kuvia. Varsinaiset mitoituslaskelmat esitetään vasta, kun käyttöliittymä suljetaan, jolloin halutut laskelmat tulostuvat dokumentiksi. Tulostettu esimerkkidokumentti on liitteenä 2. Tässä liitteessä on esitetty laskelmien lähtötiedot ja mitoituksen tulokset, mutta ei itse mitoituslaskelmia.

Laskentapohjien kirjoittamiseen tarkoitettu Tedds for Word toimii nimensä mukaisesti Microsoft Word ympäristössä, joten laskentapohjia luotaessa on käytettävissä kaikki Wordin toiminnallisuudet. Tedds for Wordissa luodut laskelmat voidaan tallentaa käyttäjän omaan kirjastoon ja käyttää myöhemmin valmiiden laskelmien tapaan.

Valmiita laskureita, joita voidaan hyödyntää teollisuuden kohteissa teräsrakenteiden liitosten suunnittelussa, on Teddsin valmiissa laskelmissa heikosti. Tässä työssä luodaan Tedds for Wordilla liitoslaskentapohja palstalevyliitoksesta, jollaista ei Teddsin kirjastossa ole tätä työtä tehtäessä. Suuria teräsrakentamisen kohteita suunniteltaessa priorisoidaan laskentapohjan yksinkertaisuutta ja tehokasta käytettävyyttä.

3.1 Ohjelman käyttöönotto

Tedds for Wordin käyttöliittymä on yhtenevä Microsoft Wordin kanssa, ja ohjelman perusnäkökulma onkin tavallinen Word -dokumentti lisättyine Tedds-välilehtineen. Tedds for Wordin laskentapuolta käytetäänkin yläpalkkiin Teddsin asentamisen myötä ilmaantuneen Tedds-välilehden kautta. Tältä välilehdeltä saa lisättyä myös Tedds Developer ja Tedds Template Designer-välilehdet, joiden käyttöä käydään läpi myöhemmin. Ohjelman Tedds-välilehdellä olevassa Help-vetovalikossa on ohjelman peruskäyttöön liittyvä Tedds Quick Start Guide sekä User's Guide. Teddsin vaativamman käytön aloittamiseen vaadittavaa opetusmateriaalia on ohjelman mukana tulevan dokumentoinnin lisäksi Tekla Teddsin internetsivuilla. Osaa tiedoista ei pääse tavallisena käyttäjänä lukemaan, vaan ne vaativat Trimblen asiakkuuksia. Vaativampaan käyttöön apuja saa myös ohjelman sisällä olevista Developers Tutorials sekä Function Reference-dokumenteista. Developers Tutorials asennetaan tietokoneelle, jolloin käyttöön saadaan 13-osainen harjoitustehtäväsarja.

Ohjelman toimintaperiaate on suhteellisen yksinkertainen, ja peruskäyttö onnistuu jopa ilman käyttöohjeiden lukemista. Useiden toiminnallisuuksien opettelu vaatii kuitenkin syvällisempää perehtymistä ohjelmaan. Työn aikana havaittiin, että sekä aktiivisten piirustusten että erilaisten funktioiden teossa Interface Designer Pro:lla ohjelmointikokemuksesta on selkeää etua.

3.2 Laskelmien laatiminen

Laskelmien kirjoittaminen dokumenttiin on yksinkertaista, kunhan muistaa noudattaa kahta perussääntöä. Samalle riville tuleva laskelman kuvaus tulee erottaa itse laskelmasta puolipisteellä, kuten kuvassa 5 on esitetty. Näin ohjelma osaa ottaa muuttujaksi oikean merkin. Sen lisäksi tuntematonta muuttujaa ratkaistaessa on loppuun laitettava yhtäsuuruusmerkki sekä kysymysmerkki. Tämä kertoo ohjelmalle, että lauseke tulee ratkaista.

Pituus;	B = 1 m	Pituus;	B = 1 m
Leveys;	C = 2 m	Leveys;	C = 2 m
Pinta-ala;	A = B * C = ?F2 m ²	Pinta-ala;	A = B * C = 2.00 m ²

Kuva 5. Laskelmien laatiminen Teddissä.

Kysymysmerkin jälkeen voidaan tarvittaessa laittaa tuloksen muotoilua tarkoittava merkintä. Taulukossa 1 esitetty kirjain merkitsee muotoilutyyliä ja sen perään tuleva numero pyöristystarkkuutta. Ohjelmalla voidaan käyttää myös yksiköitä, jolloin tuloksen yksikkö täytyy muistaa lisätä laskelmaan.

Taulukko 1. Muotoilutyyliä.

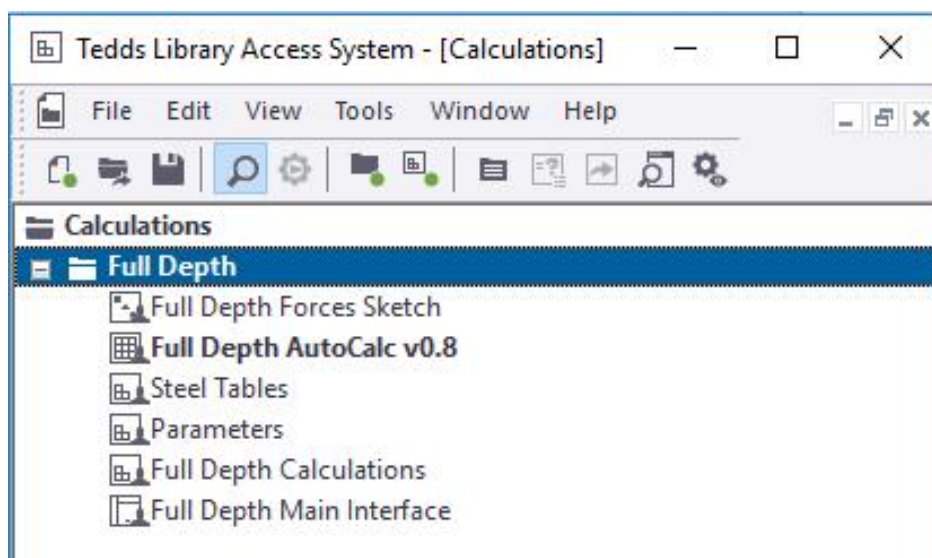
Letters	Meaning
F	Fixed format
S	Scientific format
G	General format
E	Engineering format

Dokumentista voi valita maalaamalla laskelmat, jotka ohjelma laskee. Käytännöllisempi tapa on kuitenkin laskea kerralla koko dokumentti. Laskennan yhteydessä ohjelma tallentaa muuttujat ja ratkaistujen yhtälöiden tulokset listaan, josta niitä voi tarkastella myöhemmin.

Ohjelma ymmärtää laskelmissa tavallisia laskentaoperaattoreita, vertailuoperaattoreita, matemaattisia funktioita, ehtolauseita sekä lukuisia Teddsiin rakennettuja erilaisia funktioita. Näistä esimerkkinä merkkijonojen muokkaukseen liittyviä ja kirjastoon tallennettujen dokumenttien käyttöön liittyviä funktioita. Näistä operaattoreista on listaus esimerkiksi ohjelman nettisivuilla ja Teddsin mukana tulevassa Function Reference-dokumentissa.

3.3 Laskelmakirjasto

Ohjelmassa luodut laskelmat ja muut komponentit tallennetaan kirjastoon. Pääsy kirjastoon on Launch the Tedds Library Access System-painikkeen takana. Kirjastossa ovat Tekla Teddsin mukana tulevat Trimblen ylläpitämät ja tuottamat laskelmat. Sen lisäksi sinne voi luoda omia kansiorakenteita ja niihin omaa laskenta-aineistoa. Kirjastoon voidaan tallentaa mitä vain Word-pohjalla olevaa materiaalia. Selkeyden vuoksi eri laskentakomponenteille on erilaiset tallennusikonit, jotka ovat esitetty kuvassa 6. Komponenttien lisäys kirjastoon tapahtuu maalaamalla lisättävät osiot, minkä jälkeen painetaan New Item-painiketta kirjastoikkunasta. Vastaavasti laskelmat saa muokattavaksi raahaamalla ne takaisin laskentadokumenttiin.

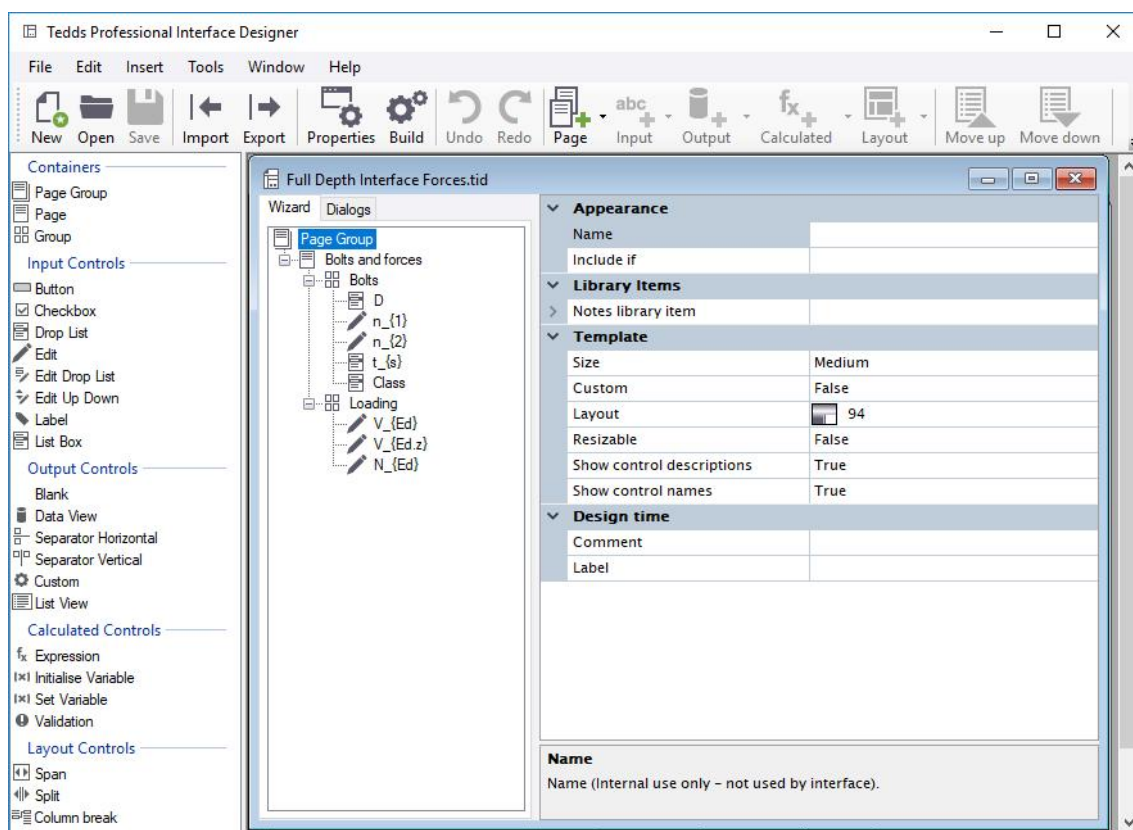


Kuva 6. Tedds-kirjasto.

3.4 Interface Designer Pro

Toiminnallisen laskentapohjan rakentaminen tapahtuu käyttöliittymän ympärille. Oikein kasattu käyttöliittymä kysyy laskelmassa vaadittavat parametrit, ajaa vaadittavat laskelmat, piirtää kuvaajat ja näyttää esikatselun tuloksista. Hyväksyttyään laskelmat käyttäjä voi sulkea käyttöliittymän, joka tulostaa halutut laskelmat Word-pohjalle dokumentoitavaksi. Hyvin rakennetulla käyttöliittymällä tehdään siis kaikki mitoittamisessa tarvittava toiminta, eikä lopullista tulostustiedostoa tarvita kuin laskelmien dokumentointiin.

Työssä käytettiin kuvassa 7 esitettyä Tedds Developer-välilehdellä olevaa Interface Designer Pro:ta. Interface Designer Pro aukeaa omana ohjelmanaan sisältäen enemmän toiminnallisuuksia ja selkeämmän rakenteen kuin karsitumpi Interface Designer. Tällä laajennusosalla luodaan halutunlainen käyttöliittymä, joka sitten tallennetaan Teddsin kirjastoon Build-napilla. Näin tallennettu interface aukeaa käytettävissä laskelmissa käyttövalmiina kuten kappaleessa 4 esitetään.



Kuva 7. Interface Designer Pro.

Interface Designer Pro:ssa käyttöliittymän luominen tapahtuu hierarkisesti. Ensimmäiseksi määritetään sivuryhmä ja sen asetukset sekä seuraavaksi sivu, minkä jälkeen valitaan ryhmä ja lopulta säätimet. Ylemmän tason asetukset vaikuttavat alempiin osioihin. Säädinten avulla laskuria käytetään, ja ne ovat lopulta käyttöliittymän muokattava osa käytettäessä laskentapohjaa. Säätimet voivat olla esimerkiksi vetovalikoita, valintapainikkeita, listoja, parametrin määrittäjiä ja tulosten tarkasteluikkunoita. Käyttöliittymän säätimiin asetetut arvot käytetään itse laskennassa, ja päinvastoin valmiiksi lasketuista dokumenteista voidaan lukea parametrit säätimiin.

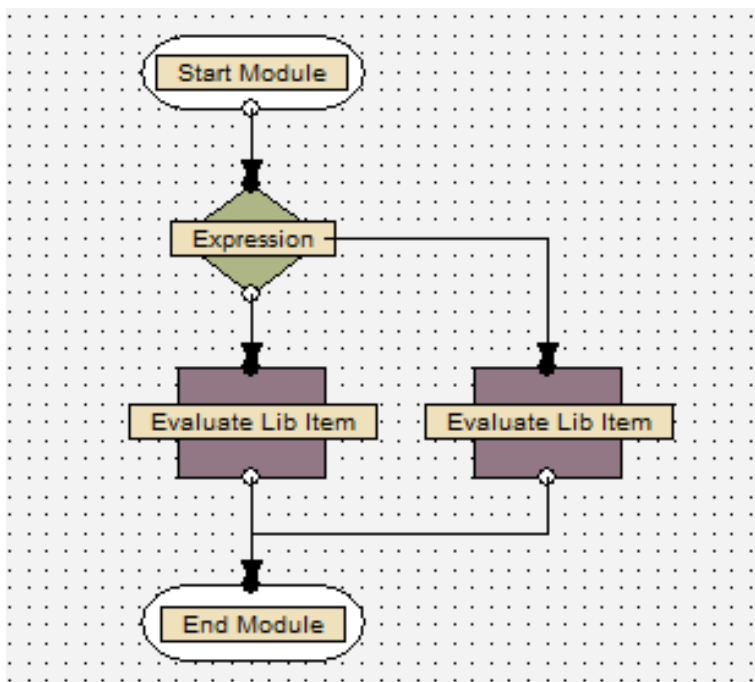
dokumenttia uudelleen laskettaessa. Säätimein myöskin asetetaan tarvittavien listojen ja taulukoiden kutsuminen. Jokaiseen säätimeen saa asetettua käytettäessä näkyvää informaatiota sekä sen näkyvyyttä ja käytettävyyttä rajoittavia lausekkeita. Tällaisia voivat olla vaikkapa virheelliset syötteet säätimein, esimerkiksi kirjaimet lukuarvojen sijaan.

Tässä työssä käytettävät tärkeimmät säätimet näytetään kuvassa 7:

- Button: Valintapainike, johon voi kirjoittaa kutsufunktioita. Nämä ajavat esimerkiksi Teddsin kirjastossa olevia laskelmia, taulukoita ja kuvaajia.
- Drop List: Vetovalikko, josta käyttäjä voi valita asetettavan parametrin arvon. Tähän alustetaan esimerkiksi eri teräslaadut, jolloin ohjelma ottaa valinnan perusteella myötö- ja murtolujuudet mitoituksessa käytettävälle teräkselle.
- Edit luo käyttöliittymään tekstikentän, johon käyttäjä syöttää haluamansa suureen.
- List View: Taulukkomuotoisen ikkunan luomiseen tarkoitettu työkalu. Sarakkeet ja rivit ovat muunneltavissa ohjelman funktioiden avulla.
- Set Variable: Muuttujan asettamiseen tarkoitettu säädin. Muuttujat ovat käytettävissä interfacessa mutta eivät oletusarvona näkyvissä laskentadokumenteissa.

3.5 Calc Designer Pro

Calc Designer Pro on Interface Designer Pro:n tavoin erillinen, laskelmien yhdistämiseen tarkoitettu laajennusosa. Calc Designer Pro:n kuvassa 8 esitetty vuokaaviopohjainen käyttöliittymä mahdollistaa loogisten operaattoreiden käyttämisen laskentamoduulien luomisessa. Laajennusosassa käytettävien laskelmien tulee olla tallennettuna Teddsin laskelmakirjastoon. Luodut vuokaaviot voidaan tallentaa vastaavasti kirjastoon, ja näin ollen ne ovat käytettävissä kaikissa Tedds for Word-dokumenteissa.



Kuva 8. Calc Designer Pro.

Vuokaavioon voi luoda erilaisia moduuleja, joiden laskentamoduulien sisältö tuodaan aina Teddsin kirjastosta. Laskennan aloittamiseen ja lopettamiseen on omat moduulinsa, ja laskentaa voi haaroittaa ehtolausemoduulien avulla. Vuokaaviota on myös mahdollista jakaa toisille välilehdille alimoduulien avulla, mikä selkeyttää laajojen kokonaisuuksien hahmottamista. Moduuleista voi valita, mikäli sen laskenta halutaan tulostaa lopulliseen laskentadokumenttiin. Valmis rakennettu vuokaavio on käytettävissä kaikissa Tedds for Word -dokumenteissa tuomalla se laskentapohjaan Tedds Field-toiminnallisuuden kautta.

3.6 Aktiivinen piirustus

Tekla Teddsin Word-pohjaan voi liittää useimpia kuvatiedostoformaatteja laskelmien tueksi. Ohjelmalla pystyy myös tekemään kuvia ohjelman piirtofunktioiden avulla, jolloin funktioiden syötteenä käytetyt mittaparametrit muuttavat piirustusta muokattaessa. Ohjelman omien piirustusten luominen tapahtuu kutsumalla ohjelmassa olevia piirtofunktioita Tedds for Word-dokumentissa. Piirtofunktiot on esitetty ohjelman mukana tulevassa Tedds Function Reference-tiedostossa. Nämä luodut piirustukset voidaan tallentaa Teddsin kirjastoon, josta niitä voi käyttää kaikissa laskelmissa. Piirtofunktioiden loppuun tulee laittaa yhtäsuuruusmerkki ja kysymysmerkki, jolloin

ohjelma ymmärtää huomioida lausekkeen funktiona. Alla olevassa yksinkertaisessa esimerkissä korkeus h ja leveys b ovat alustettuna laskentapohjaan: $h = 100 \text{ mm}$, $b = 300 \text{ mm}$.

$$\text{DrawCreateDrawing}(b, h) = ? \quad (42)$$

$$\text{DrawCreatePath}() = ? \quad (43)$$

$$\text{DrawLine}(0\text{mm}, 0\text{mm}, 0.5 * b, h) = ? \quad (44)$$

$$\text{DrawLine}(0.5 * b, h, b, 0\text{mm}) = ? \quad (45)$$

$$\text{DrawLine}(b, 0\text{mm}, 0\text{mm}, 0\text{mm}) = ? \quad (46)$$

$$\text{DrawFillColor}(\text{"brown"}) = ? \quad (47)$$

$$\text{DrawFillPath}() = ? \quad (48)$$

$$\{= \text{CSC|CALL ShowDrawing}()\} \quad (49)$$

Kaavassa (42) luodaan laskentapohja, jonka koko on leveys b ja korkeus h . Seuraavaksi kaavassa (43) luodaan polku, joka lopuksi kaavassa (48) täytetään kaavassa (47) asetetulla värillä. Viivanpiirtokutsuissa viivan neljä koordinaattia ovat x_1 , y_1 , x_2 ja y_2 . Loppuun laitettava kaava (49) pyytää ohjelmaa näyttämään piirustuksen. Eli kun dokumenttia lasketaan, tulee piirroskutsun tilalle kutsua edeltäviä piirrosfunktioita vastaava, kuvassa 9 esitetty kuvio. Laskentadokumentin selkeyttämiseksi piirtofunktiot kannattaa asettaa piilotetuksi Wordissa, jolloin laskentadokumentissa ei näy kuin haluttu kuva. Aktiivisen piirustuksen luominen kannattaa tehdä laskennasta erillisessä Tedds for Word-dokumentissa, josta sen voi valmistuttuaan tallentaa Teddsin kirjastoon.



Kuva 9. Piirtofunktioilla luotu kuvio Word-pohjaan.

3.7 Listat

Teddsin kirjastossa on monenlaisia laskentaa tukevia listoja ja taulukoita. Tässä työssä tutustutaan vain listojen luomiseen ja käyttämiseen, koska ohjelman kehittäjät suosittelivat käyttämään listoja taulukoiden sijaan. Käyttö ja toiminta näillä on hyvin samankaltainen, mutta listojen luominen on hivenen yksinkertaisempaa. Valmiiden listojen käyttäminen laskentadokumenteissa on yksinkertaista: listasta valitaan haluttu objekti, joka tuo sen ominaisuudet laskentatiedostoon. Nämä ominaisuudet, esimerkiksi palkin poikkileikkausominaisuudet, ovat valinnan jälkeen käytössä laskentapohjan laskelmissa.

Teddsissä onkin valmiina lukuisia, erityisesti eri maanosien teräsprofiilien poikkileikkausominaisuuksia sisältäviä listoja. Palstalevyliitoslaskurissa käytettävien poikkileikkausten ominaisuudet voidaan siis suoraan ottaa ohjelman EuroECsi, European Steel Sections-listasta. Valmiiden, ohjelmassa olevien listojen käyttö on helppoa ja tekee laskentapohjista tehokkaampia. Teddsin kirjaston käsittäessä kuitenkin vain enimmäkseen yleisluontoisia materiaaleihin ja poikkileikkauksiin liittyviä listoja voi laskentapohjia tehtäessä tulla tarve luoda omia listoja. Listojen ja taulukoiden luomisen lähteenä toimii ohjelman mukana tuleva Tedds DataList – DataTable Tutorial-dokumentti.

Listat luodaan Tedds Developer-välilehdellä olevan Data List Designer-työkalun avulla. Ohjelmaan ajettava taulukko kannattaa muokata Excelissä kuvassa 10 esitettyyn muotoon, minkä jälkeen se aukaistaan Data List Designerillä. Kuvassa 10 on esitetty listan vaadittu rakenne. Ensimmäisessä kappaleessa määritetään muuttujat ja niiden yksiköt, kun taas jälkimmäisessä asetetaan objektien nimet ja ensimmäisen kappaleen

määrittysten mukaiset parametrit. Rivitys ja otsikkorakenne ovat samanlaisia kaikissa listoissa, mutta muuttujien ja ominaisuuksien määrä voi vaihdella tarpeen mukaan. Näin luotu lista on lopullisen listan yksi välilehti, joita voidaan luoda tarvittava määrä.

Full depth dimensions - Data List Designer

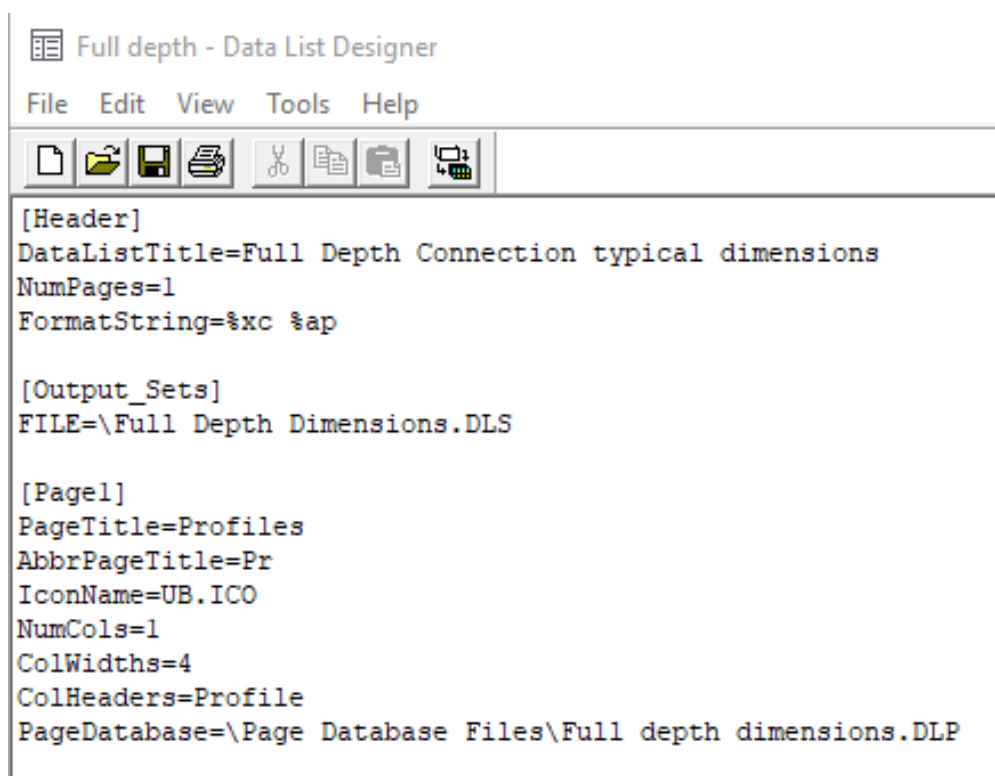
File Edit View Tools Help

[[DLS_DBase_Hdr]
Variables=
Units=

	D	t_{p}	a	h_{n}	l_{n}	n_{1}	n_{2}	p_{1}	p_{2}	e_{1}	e_{2}	e_{2.2}	g_{h}	z_{y}
	mm	mm	mm	mm				mm	mm	mm	mm	mm	mm	
[DLS_DBase_Entries]														
IPE 160=	M16	10	4	20	75	2	1	60	0	30	30	30	15	0
IPE 180=	M16	10	4	25	75	2	1	70	0	30	30	30	15	0
IPE 200=	M20	10	4	30	85	2	1	70	0	35	35	35	15	0
IPE 220=	M20	10	4	30	95	2	1	80	0	40	40	40	15	0
IPE 240=	M20	10	4	30	95	2	1	100	0	40	40	40	15	0
IPE 270=	M20	10	4	30	95	3	1	65	0	40	40	40	15	0
IPE 300=	M20	10	4	35	95	3	1	75	0	40	40	40	15	0
IPE 330=	M20	10	4	40	95	3	1	85	0	40	40	40	15	0
IPE 360=	M20	10	4	40	95	4	1	67	0	40	40	40	15	0
IPE 400=	M20	10	4	40	95	4	1	80	0	40	40	40	15	0
HE 160 A=	M12	10	4	30	70	2	1	42	0	25	25	25	15	0
HE 180 A=	M16	10	4	30	90	2	1	50	0	30	40	40	15	0
HE 200 A=	M20	10	4	30	100	2	1	60	0	35	40	40	15	0
HE 220 A=	M20	10	4	30	100	2	1	60	0	45	40	40	15	0
HE 240 A=	M20	10	4	40	120	2	1	80	0	35	40	40	15	0
HE 260 A=	M16	10	4	40	120	3	1	55	0	30	40	40	15	0
HE 280 A=	M20	10	4	40	140	2	1	110	0	40	40	40	15	0
HE 300 A=	M20	10	4	45	150	3	1	60	0	40	40	40	15	0
HE 320 A=	M20	10	4	45	150	3	1	70	0	40	40	40	15	0
HE 340 A=	M20	10	4	50	150	3	1	75	0	40	40	40	15	0
HE 360 A=	M24	10	4	50	150	3	1	80	0	45	45	45	15	0
HE 400 A=	M24	10	4	50	150	3	1	100	0	45	45	45	15	0

Kuva 10. Data List Designer ja listan rakenne.

Kun haluttu määrä välilehtiä on saatu luotua, luodaan Template Setup File, joka on esitetty kuvassa 11. Tällä tiedostolla saadaan koottua listan välilehdet lopulliseen listamuotoon ja tallennettua Teddsiä tukevaan listamuotoon. Koontitiedoston kahden ensimmäisen otsikon alla määritetään listan lopullinen nimi, välilehtien lukumäärä ja tallennustiedoston paikka. Sivuotsikoiden alla määritetään kunkin välilehden otsikko, rakenne ja välilehden kuva. Mikäli lista käsittää useampia välilehtiä, luodaan jokaiselle omat määritelmänsä. Kokoamistiedoston perusrakenteen on oltava samanlainen listasta riippumatta. Kun listan koontitiedosto on valmis, tallennetaan tiedosto .dld-päätteiseen muotoon ja viedään Teddsin listoja sisältävään kansioon. Näin lista saadaan käytettäväksi laskelmiin.



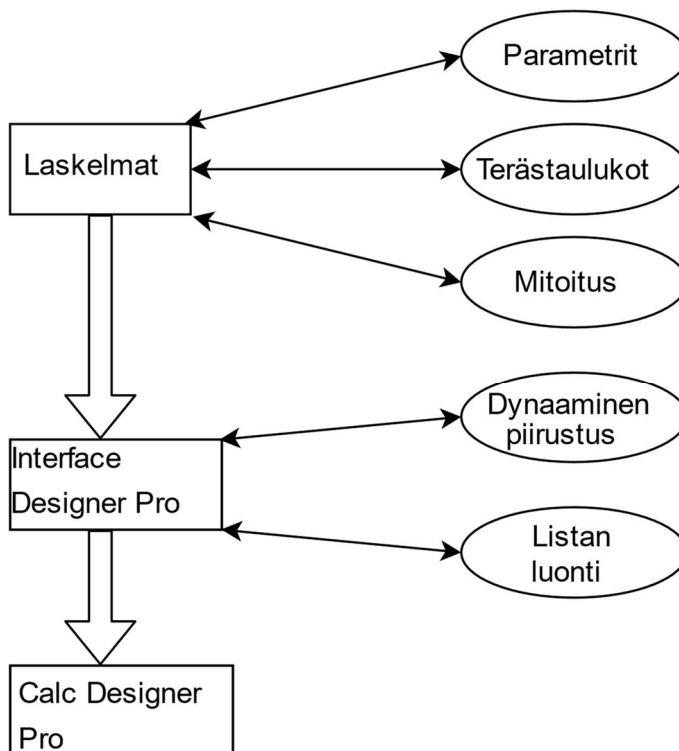
Kuva 11. Listan koontitiedosto.

4 PALSTALEVYLIITOSLASKURI

4.1 Rakenne

Tekla Teddsillä laskentapohjan rakenteen voi toteuttaa monella erilaisella mutta käytössä täysin yhdenvertaisesti toimivalla tavalla. Tässä kappaleessa on esitetty yksi tapa rakentaa laskuri interface-käyttöliittymän ympärille. Tämä tapa valikoitui käyttöohjedokumenttien perusteella sekä vaativimmilta osin kokeilemalla toimivaa rakennetta. Laskentapohjaa suunniteltaessa haluttiin lopputulos, jossa olisi palstalevyliitoksen mitoituslaskelmien tukena selkeä ja helppokäyttöinen käyttöliittymä. Interfaceen haluttiin sisällyttää laskennassa hyödyllisiä ohjelman toiminnallisuuksia kuten dynaaminen piirustus ja ohjelman kirjastoon luotu lista.

Laskentapohjan luomisessa on kolme päävaihetta, jotka näytetään kuvassa 12. Ensimmäinen vaihe on mitoituksessa vaadittavien laskelmien kirjoittaminen Tedds for Wordiin ja niiden tallentaminen. Seuraavaksi luodaan laskentapohjan käyttörajapinta Interface Designer Pro:lla, jossa muokataan halutunlainen käyttöliittymä. Lopuksi laskelmat ja interface yhdistetään Calc Designer Pro:lla, jolloin saadaan kaikki laskelmat käsittävä käyttörajapintaa hyödyntävä laskentapohja.



Kuva 12. Laskentapohjan luomisen vaiheet.

4.2 Laskelmat

Tarvittavat laskelmat kannattaa kirjoittaa sopivissa osioissa Tedds for Wordiin. Näin sopivat laskelmat ovat helpommin kierrätettävissä esimerkiksi erilaisia laskureita luotaessa. Laskelmat, jotka jakautuvat tässä työssä kolmeen erilliseen tiedostoon, tallennetaan kukin kirjoittamisen jälkeen Teddsin kirjastoon.

4.2.1 Parametrit

Parametrit-laskelmaan kirjoitetaan kaikki mitoituslaskelmissa tarvittavat muuttujat ja alustetaan niille jokin arvo, mistä esimerkkinä on liittyvän palkin korkeuden alustus kaavassa (50). Tämä laskentatiedosto tehdään siksi, että laskentapohja säädetään siten, että se laskee mitoituslaskelmat aina käyttöliittymässä muutoksia tehtäessä. Laskentiarvojen alustamisella vältetään siis laskentapohjan virheilmoituksilta, kun todellisen tilanteen arvoja ei vielä ole asetettu. Alustettavilla numeroilla ei ole merkitystä, koska laskentapohja säädetään siten, että se näyttää tuloksia laskelmasta vasta, kun kaikki halutut arvot on käyttöliittymässä asetettu.

$$h_1 = 0,01 \text{ m}^2 \quad (50)$$

4.2.2 Terästaulukot

Kaikki lähtöarvojen perusteella muuttuvat tiedot on laadittu terästaulukot-laskelmaan. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi terästen myötö- ja murtolujuudet, ruuvien halkaisijat ja lujuusluokka sekä hitsien korrelaatiokerroin. Näiden muuttujien arvo laskelmissa määräytyy siis käyttöliittymässä tehtävien valintojen mukaan. Arvojen määrittäminen useissa teräsrakenteiden liitoksissa samanlainen ja siten kierrätettävissä eri liitoslaskureissa. Arvot määräytyvät siis käyttäjän antaman syötteen mukaan, ja lopullinen suureiden valinta tehdään vertailuoperaattoreilla kaavan (51) mukaisesti.

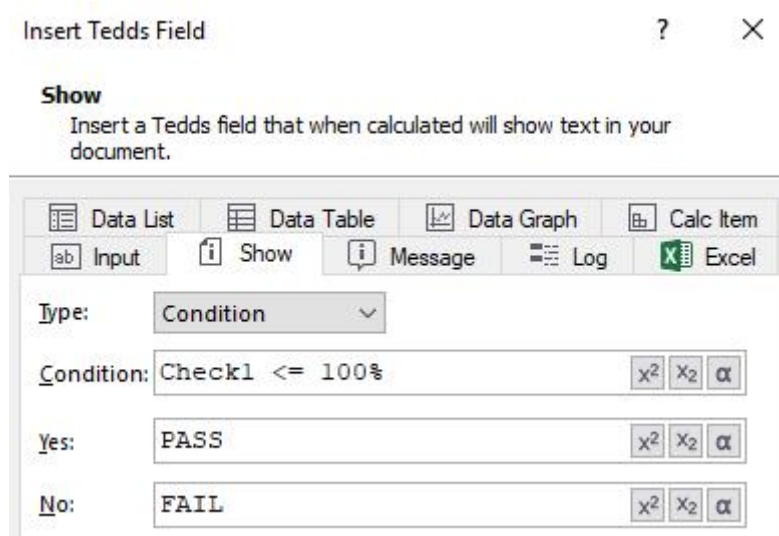
$$f_{yb} = \text{If}(\text{Class} == 10.9, 900 \text{ MPa}, 640 \text{ MPa}) = \\ ? \text{ MPa} \quad (51)$$

Kaavassa (51) määritetään mitoituslaskelmissa käytettävä ruuvien myötölujuus laskentapohjan interfacesta käytettävästä vetovalikosta valittavan Class-parametrin avulla. Tämä yksinkertainen ehtolause valitsee myötölujuudeksi 900 MPa, jos ruuvin lujuusluokaksi valitaan 10.9. Mikäli lujuusluokka on jotain muuta kuin 10.9, myötölujuuden arvoksi asetetaan 640 MPa.

4.2.3 Mitoituslaskelmat

Tämä dokumentti asetetaan tulostumaan laskelmien päättämisen jälkeen. Tähän laskelmaan tehdään kaikki palstalevyliitoksen mitoituksessa tarvittava dokumentointi. Mitoituslaskelmien rakenteeseen tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta siitä saadaan mahdollisimman selkeä laskentaraaportti.

Laskelman alkuun alustetaan mitoituksessa käytettävät voimat, ruuvien tiedot, liitoksen dimensiot sekä terästaulukoista saatavat materiaaliarvot. Nämä arvot määräytyvät käyttöliittymässä tehtyjen valintojen perusteella. Alkumääritysten jälkeen kirjoitetaan mitoituslapaukset kappaleen 2.2. mukaisesti, joista kunkin perään luodaan tarkistus mitoituskohdan läpäisystä. Tarkistus tehdään Tedds Field-valinnan alla olevasta Show-yhtälöstä. Show-laskelmalla näytetään haluttu tulos määritetyn ehtolauseen avulla. Tedds Field ja ehtolauseen määrittely on esitetty kuvassa 13. Laskelmien loppuun luodaan vielä taulukko, johon kootaan kaikki mitoituslapaukset ja niiden käyttöaste.



Insert Tedds Field

Show

Insert a Tedds field that when calculated will show text in your document.

Type: Condition

Condition: Check1 <= 100%

Yes: PASS

No: FAIL

Kuva 13. Tedds Field.

4.3 Interface

Liitoslaskentapohjalle pyrittiin luomaan mahdollisimman yksinkertainen ja tehokkaasti käytettävä käyttöliittymä. Kuvassa 14 esitettyyn pääkäyttöliittymään on tehty palkkien ja liitoslevyn ominaisuuksiin tarvittavat säätimet. Sen lisäksi näkymässä on Details-painike, joka aukaisee mitoitusparametrit sisältävän ikkunan. Pääkäyttöliittymän alaosassa rullattavassa ikkunassa esitetään tulokset. Interface on asetettu ajamaan aina Teddsin kirjastosta Mitoitus-laskelma, kun säätimien syöte muuttuu. Eli ohjelma laskee aina liitoksen mitoituslaskelmat, kun interfacen säätimissä tehdään muutoksia. Näin ikkunasta nähdään laskurin käytön aikana koko ajan reaaliaikaisesti eri mitoituskohtien käyttöasteet. Ikkunan yläosan laatikossa näytetään laskurin säädinten käyttöön liittyviä ohjeistuksia.

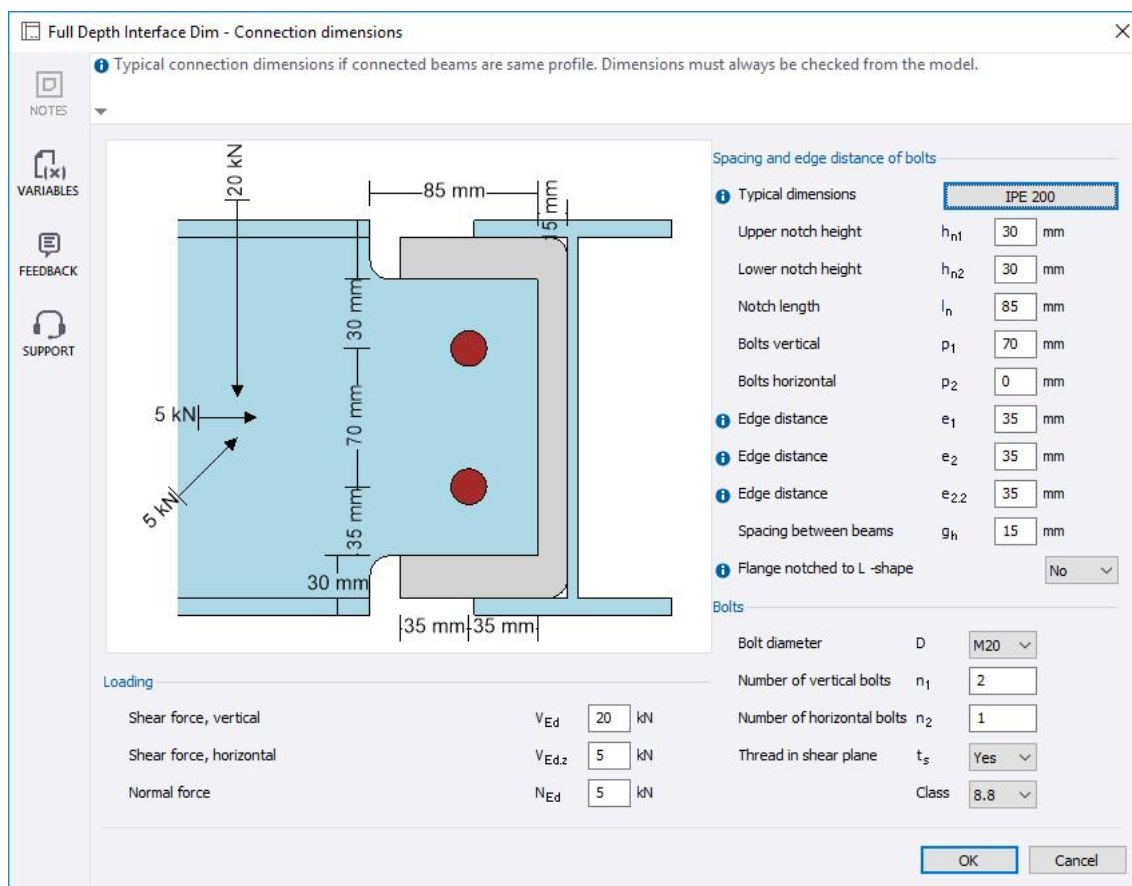
Check	Utilization	Validation
3 Shear resistance of fin plate:	7 %	✓
4 Shear block of fin plate:	10 %	✓
5 Bending of fin plate:	5 %	✓
6 Lateral torsional buckling of fin plate:	5 %	✓
7 Buckling of fin plate:	1 %	✓
8 Bearing resistance of beam web:	48 %	✓
9 Shear resistance of beam:	23 %	✓
10 Shear block of beam web:	31 %	✓
11 Combined bending, shear and axial force resistance in notched beam at...	197 %	✗

Kuva 14. Pääkäyttöliittymän näkymä käytössä.

Pääkäyttöliittymän toiminnallisuudet:

- Liittyvien palkkien profiilit valitaan painikkeista, jotka aukaisevat Teddsiin alustetut poikkileikkauslistat. Profiilin valitseminen listasta tuo kaikki profiilin poikkileikkaustiedot laskentaan.
- Palkkien ja liitoslevyn teräslaatu valitaan vetovalikosta, johon on alustettu neljä yleistä Euroopassa käytettävää teräslaatua. Terästaulukot-laskentadokumentissa ovat ehtolauseet, jotka valitsevat mitoituslujuudet valitun teräslaadun mukaisesti.
- Liitoslevyn paksuus ja hitsin a-mitta valitaan kirjoittamalla kenttään haluttu arvo.

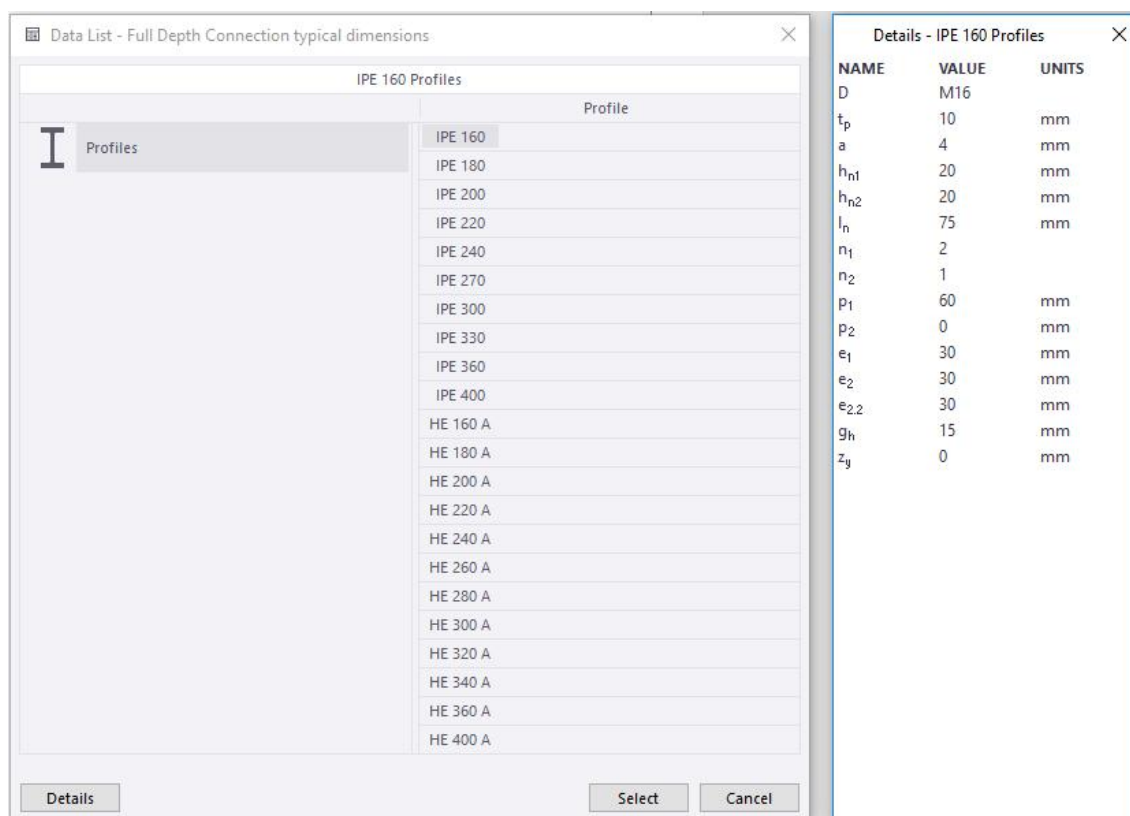
Liitoksen mittoja, ruuveja ja voimia käsittelevä Details-painike aukaisee toisen Interface Designer Pro:lla luodun käyttöliittymän. Kuvassa 15 esitetty mitoitusikkuna sisältää laskennassa asetettavat voimat, ruuvitiedot ja liitoksen mitat. Suljettaessa ikkuna Finish-painikkeella ohjelma tuo tämän mitoitusliittymän laskentaparametrit pääkäyttöliittymään, jolloin laskelmien tuloslista päivittyy sen mukaisesti.



Kuva 15. Mitoituskäyttöliittymän näkymä käytössä.

Mitoituskäyttöliittymän toiminnallisuudet:

- Mitoituskäyttöliittymä on sivun asetuksissa määritetty näyttämään kirjastoon tallennettua aktiivista piirustusta. Laskurin piirustuksen luontitiedosto on liitteenä 1. Tämä piirustus muuttuu ikkunan arvoja vaihdettaessa sekä on asetettu tulostumaan mitoituksen päätyttyä laskentadokumenttiin.
- Typical dimensions-valinnasta avautuu tähän laskentapohjaan erikseen luotu lista. Listan käyttönäkymä on esitetty kuvassa 16. Tämä lista tuo valitun profiilin väliselle liitokselle tyypilliset mitta- ja ruuvitiedot, jolloin niitä ei tarvitse syöttää laskentapohjaan käsin.
- Mitoittamisen laskentaparametreille, mitoille, voimille ja lukumäärille on alustettu sopivia säätimiä.



Kuva 16. Tedds-lista poskilevyliitoksen mittatiedoista.

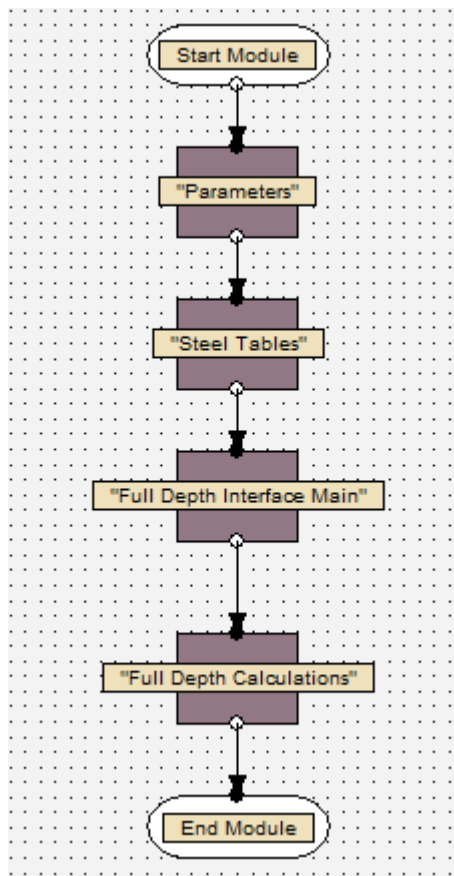
4.4 Laskelmien kokoaminen

Interface ja eri laskentatiedostot kootaan Calc Designer Pro:n avulla. Tällä saadaan yhdistettyä komponentit yhdeksi toimivaksi laskentapohjaksi. Mitoituslaskelmia tehtäessä arvioitiin, että näin laajan laskentapohjan teossa kokonaisuus pysyy helpommin hallittavana, kun mitoittamisessa käytetään suoraan ehtolauseita. Mitoituslaskelman eri osat olisi voinut luoda omiksi moduuleikseen ja haaroittaa kaaviota laskentaehtoien mukaisesti, jolloin ehtolauseita ei olisi tarvinnut kirjoittaa mitoituslaskelmiin. Näin olisi saatu useita moduuleja sisältävä, Calc Designer Pro:n ehtolausein haaroittuva vuokaavio.

Tämän työn toteuttaminen olisi onnistunut myös kokonaan ilman Calc Designer Pro:ta, mutta sitä käytettäessä laskelmista tulee havainnollisempia. Kukin moduuli on omana laskelmanaan ohjelman laskentakirjastossa, ja sen muokkaaminen muuttaa moduulia kaikissa sitä käyttävissä laskentapohjissa.

Kuvassa 17 on esitetty tässä työssä käytetyn vuokaavion rakenne:

- Välttämätön aloitusmoduuli.
- Parametrit-moduuli, joka alustaa kaikki laskennassa käytettävät arvot.
- Terästaulukoista saadaan aloitusparametrien avulla alustettujen teräsarvojen mukaiset arvot.
- Käyttöliittymän ajomoduuli, josta laskuria käytetään. Käyttöliittymä ajaa tulostuloksen vuoksi jatkuvasti mitoituslaskelmia.
- Käyttöliittymä sulkemisen jälkeen lasketaan vielä kerran mitoituslaskelmat, joista laskelmat on asetettu tulostumaan dokumenttiin.
- Viimeisenä kaaviossa on lopetusmoduuli.



Kuva 17. Laskurin vuokaaviorakenne.

5 LASKELMIEN VERIFIOINTI

Vertailulaskelmat tehtiin Comsol Multiphysics 5.3-ohjelmalla. Kyseessä on simulointiohjelmisto, joka soveltuu hyvin tämän työn kaltaisten rakenteiden staattisten kuormitustapausten jännitysten tutkimiseen.

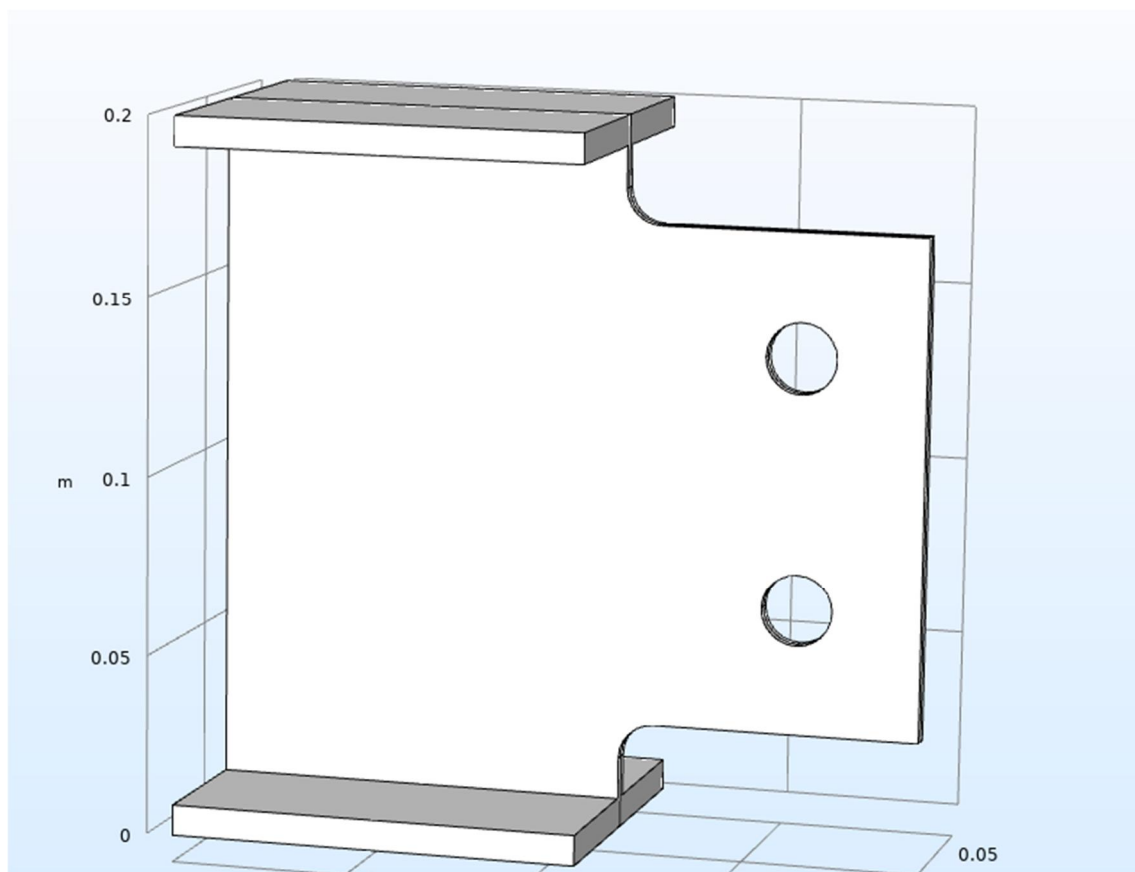
Ohjelmaan luotiin kolmiulotteinen malli liittyvästä IPE 200-profiilista. Palkin liitospää kolottiin liitoslaskennan mittojen mukaisesti. Ruuvireijät mallinnettiin

Vertailu tapahtui asettamalla kuormitukset laskentapohjaan siten, että halutulle murtotapaukselle saatiin 100 % Eurokoodin mukainen käyttöaste. Tämän jälkeen FEM-ohjelmaan luotiin samanlainen tutkimustapaus, ja verrattiin tuloksia. Tutkittaviksi kuormitustilanteiksi valittiin kaksi usein käytännön suunnittelutyössä liitoksen mitoittavaa tapausta. Mitoittavana murtotapauksina tutkimuskohteissa ovat kappaleen 2.2.8 palkin uuman reunapuristuskestävyys, sekä kappaleen 2.2.12 yhdistetty taivutus-, leikkaus- ja normaalivoimakkestävyys palkin leikkauksen kohdalla. Näiden tapauksien kohdalla 100 % käyttöasteen tuottavat voimat ovat esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tutkittavien tapausten kuormat.

Murtotapaus	Normaalivoima N_{Ed} (kN)	Pystyleikkaus $V_{Ed,y}$ (kN)	Vaakaleikkaus $V_{Ed,z}$ (kN)
Reunapuristus	45	25	0
Yhdistetyt kuormitukset	10	15	1

Tutkittavia tapauksia varten Comsoliin luotiin malli liittyvästä IPE 200-profiilin palkista, joka on esitetty kuvassa 18. Palkin liitospää kolottiin liitoslaskennan mittojen mukaisesti, sekä sinne luotiin ruuvireijät. Palkin toiseen päähän asetettiin reunaehdot, jotka estävät sen liikkumisen kaikissa suunnissa. Terästä tarkastellaan lineaarisesti kimmoisella materiaalimallilla, sekä laskennassa käytettiin kvadraattisia Serendipity-elementtejä. Elementtiverkoksi valittiin ohjelman automaattisesti luoma tiheä elementtiverkko. Käsinskennassa uuman pyöristyksiä ei oteta huomioon, mutta FEM-malliin pyöristykset tehtiin todellisuuden mukaisesti. Tämä siksi, että terävät kulmat aiheuttavat laskentamallissa epärealistisen suuria jännityksiä.



Kuva 18. Palkin Comsol-malli.

Reunapuristusta tutkittaessa kuormat asetettiin jakautumaan tasan ruuvien reikiin. Toisessa kuormitustapauksessa kuormat asetettiin laskennan mukaisesti liittyvän palkin uuman keskikohtaan pistekuormana. Tätä varten Comsol-malliin liittyvän palkin uumaa jatkettiin niin, että kuormat saatiin mallinnettua oikeaan pisteeseen. Näin saatiin uumalle samat momentin arvot kuin Eurokoodin mukaisessa käsinlaskennassa.

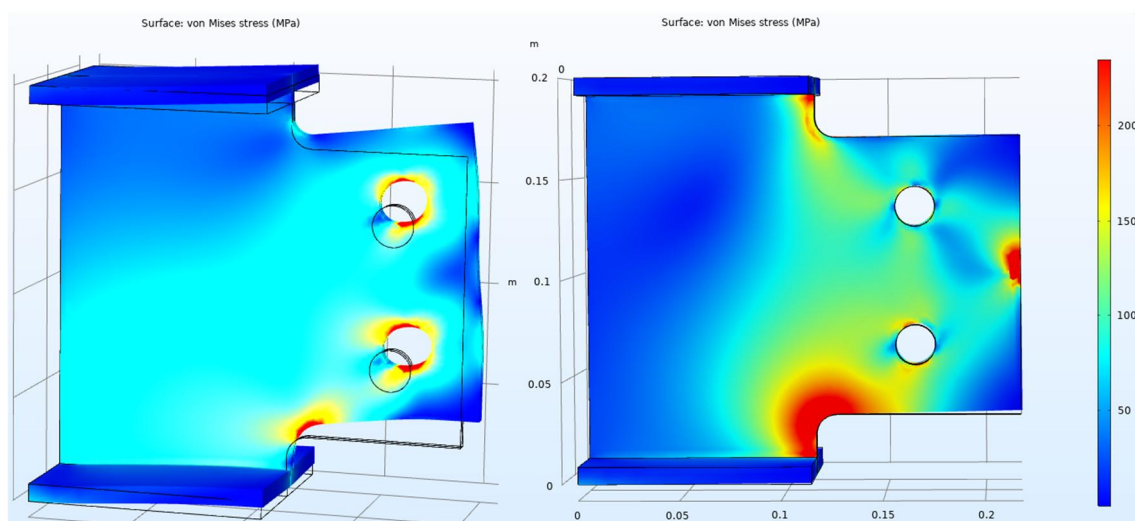
6 TULOKSIEN TARKASTELU

6.1 Liitoslaskennan tulokset

Kuvassa 19 on esitetty tutkitun kahden eri kuormitustapauksen jännityksiä liittyvässä palkissa. Kuvan värit ovat skaalattu siten, että jännitysten maksimiarvona on teräksen myötölujuus 235 MPa. Näin kuvasta katsoen punaisilla alueilla tapahtuisi pysyviä muodonmuutoksia palkeissa.

Reunapuristustapauksessa ruuvien rei'issä, sekä uuman leikkauksen tyvessä tapahtuisi hieman muodonmuutoksia. Pultinreikien ympäristön jännitykset vastaavat hyvin laskelmien mukaista 100 % käyttöastetta palkin uuman reunapuristuskestävyydelle. Huomionarvoista on kolottuun uumaan tulevat muodonmuutokset, sillä tutkittavassa tapauksessa uuman yhdistetyn kuormien käyttöaste on 84 %.

Tarkasteltaessa kolotun uuman yhdistettyjen kuormien kestävyyttä täytyy pistekuorman alueella olevat jännitykset uuman päässä jättää huomiotta. Sen sijaan kuvasta 19 havaitaan, että uuman leikkauksen tyvessä myötöraja ylitetään melko suurella alueella. Tämä aiheuttaisi todennäköisesti merkittäviä muodonmuutoksia palkkiin, etenkin kun maksimijännitys tutkittavalla alueella on 400 MPa:n luokkaa.



Kuva 19. Kahden tutkittavan tapauksen jännitykset

6.2 Ajankäyttö

Teddsin Word-pohjaisuus luo useimmille tutun ympäristön laskelmien laatimiseen. Ohjelman peruskäyttö ja laskelmien laatiminen onnistuukin käyttöohjeiden ja esimerkkien avulla suhteellisen helposti aiemmin ohjelmaan tutustumattomaltakin. Suurin osa ohjelman eri toiminnallisuuksista ja niiden käytöstä on esitelty perusteellisesti ohjeissa, mutta paikoitellen tieto on hajautettuna turhan moneen eri dokumenttiin ja nettisivuun. Lisäksi erityisesti Interface Designer Pro:n osalta ohjeet ovat melko pintapuolisia ja Tekla Teddsin kirjastossa olevien laskelmien tasoisten laskentapohjien tekeminen näiden ohjeiden avulla on haastavaa. Interfacen rakenteen kopiointi Tekla Teddsin kirjaston valmiista käyttöikkunoista on mahdollista mutta haastavaa etenkin monimutkaisempien käyttöliittymien kanssa.

Kokonaisuudessaan käytettävyydeltään hyvän ja ulkonäöltään tarkoituksenmukaisen laskentapohjan tuottamisessa ohjelmointikokemuksesta on suurta etua. Tavallisissa laskelmissa vertailuoperaattoreita käytettäessä, aktiivisten piirustusten tuottamisessa ja erityisesti Interface Designer Pro:n ominaisuuksien käytössä on hyödyllistä ymmärtää sovellettavissa olevat funktiot ja niiden toiminta. Työn tekijä on suorittanut ohjelmoinnin peruskurssin, josta hän kokee olleen huomattavasti hyötyä ohjelman käytössä.

Taulukossa 3 on esitetty laskelmien tekemiseen kuluva aika. Tekijä ei ollut ennen tätä laskentapohjan luomista käyttänyt aiemmin Tekla Teddsiä, joten tutustuminen ohjelman eri ominaisuuksiin vaati reilusti aikaa. Laskurille asetetut vaatimukset liitoslaskentaan soveltuvasta käyttöliittymästä ja toteutuksesta määrasivät työn vaikeustason. Laskurin tekemiseen käytetty aika on osittain arvioitua, ja siihen on sisällytetty yleistä ohjelmaan tutustumiseen kulunutta aikaa.

Taulukko 3. Laskentapohjan luomisessa käytetty aika.

	Ensimmäinen laskuri (h)	Toinen laskuri (h)
Ohjelman käyttöönotto	5	0
Tutustuminen	40	0
Laskelmien laatiminen	20	15
Interface Designer	30	15
Calc Designer Pro	5	3
Piirustuksen laatiminen	15	10
Listan luonti	5	2
Yhteensä	120	45

Ensimmäisen laskentapohjan tekeminen on luonnollisesti huomattavasti hitaampaa kuin sitä seuraavien. Vertailun vuoksi taulukossa 3 on esitetty arvioitu aika toisen laajuudeltaan vastaavan mutta erilaista rakennetta hyödyntävän laskurin luomiselle. Vastaavasti analogisen, esimerkiksi erilaisen teräsrakenteiden liitoslaskurin, luominen valmiita käyttöliittymärakenteita ja kirjastoon tehtyjä laskelmia kopioimalla onnistuisi huomattavasti nopeammin.

6.3 Vertailu

Työn tilaajien Trimblen ja WSP Finland Oy:n Oulun rakennetekniikan etujen mukaista on vertailla tutkittua ohjelmaa kilpailijoiden vastaaviin ohjelmiin. Tässä kappaleessa on vertailtu liitoslaskentapohjan luomiseen ja käyttöön liittyviä ominaisuuksia tämän työn osalta. Vertailemalla voidaan arvioida Teddsin käytön mahdollista tehostavaa vaikutusta rakennesuunnitteluun. Näin saadaan myös käsitys ominaisuuksista, joita ohjelmassa tulisi vielä parantaa verrattuna kilpailijoihin. Vertailtavana ohjelmana on PTC:n Mathcad 15.0, joka on käyttötarkoitukseltaan samankaltainen ohjelma ja käytössä useissa liitoslaskentapohjissa.

Laskelmien kirjoittaminen Teddsiin ja Mathcadiin on hyvin yhteneväistä - suurimpana erona lienee Mathcadin reaaliaikainen laskelmien ratkaisu. Kirjoittaminen käy Mathcadissa kuitenkin nopeammin jouhevampien pikanäppäinten avulla. Siinä ei myöskään tarvitse erotella funktioita ja tekstiä yhtäsuuruus- ja kysymysmerkillä kuten kuvassa 5 on esitetty, vaan ohjelma ymmärtää oletusarvoisesti tekstin laskelmina. Kirjoitusta haluttaessa luodaan tekstilaatikko. Kokonaisuudessaan Teddsiä käytettäessä kirjoituksen muotoilu on tarkempaa, jotta laskennasta selviää ilman virheilmoituksia. Kummallakin ohjelmalla saadaan haluttaessa piilotettua laskelmia. Kuvassa 20 on esitetty kaavojen muotoilua eri ohjelmissa, josta havaitaan Mathcadin rivittävän etenkin ehtolauseet selkeämpään muotoon.

MATHCAD

Tension resistance of the net section

$$A_{b.net.1} := t_{w.b1} \cdot h_{n.w} - (n_2 \cdot d_0 \cdot t_p)$$

$$N_{u.Rd.b.1} := \begin{cases} \frac{0.9 \cdot A_{b.net.1} \cdot f_{u.b1}}{\gamma_{M2}} & \text{if } V_{Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl.N.Rd} \\ \frac{0.9 \cdot A_{b.net.1} \cdot f_{u.b1}}{\gamma_{M2}} \cdot \left[1 - \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl.N.Rd}} - 1 \right)^2 \right] & \text{if } V_{Ed} > 0.5 \cdot V_{pl.N.Rd} \end{cases}$$

$N_{u.Rd.b.1} = 382.4 \cdot \text{kN}$

TEDDS

Tension resistance of the net section

$$A_{b.net.1} = t_{w1} * h_{n.w} - (n_2 * d_0 * t_p) = 705.000 \text{ mm}^2$$

$$N_{u.Rd.b.1} = \text{if}(V_{Ed} \leq 0.5 * V_{pl.N.Rd}, 0.9 * A_{b.net.1} * f_{u.b1} / \gamma_{M2}, 0.9 * A_{b.net.1} * f_{u.b1} / \gamma_{M2} * (1 - (2 * V_{Ed} / V_{pl.N.Rd} - 1)^2)) = 182.736 \text{ kN}$$

Kuva 20. Tekstin muotoilu ohjelmissa.

Mathcadsissa laskentapohjaa käytetään itse laskentatiedostosta, kun taas Teddsissä pyritään käyttämään laskentapohjaa ajavaa käyttöliittymää. Valmiin liitoslaskurin käyttö onkin Teddsissä tehokkaampaa, etenkin jos laskentapohjaan on tehty hyvä interface. Toisaalta käyttöliittymän luominen aiheuttaa ylimääräistä työtä.

Teddsissä laskentadokumentit voidaan sisällyttää kätevästi yhteen projektitiedostoon, jonka sisällä on välilehti kullekin laskelmalle. Näin on helppo dokumentoida esimerkiksi kaikki saman tyyppin liitoksen eri laskelmat samaan projektiin, jolloin ne ovat yhden tiedoston alla tarkasteltavissa. Word-dokumentit ovat muutenkin yhdenmukaisia useiden muiden projektiasiakirjojen kanssa. Projektin voi myös koostaa helposti Tedds for Wordiin, jolloin ohjelma luo siihen sisällysluettelon. Näin projektista saadaan helposti luotua esimerkiksi pdf-tiedosto. Luodussa dokumentissa ja interfacessa voidaan Teddsissä hyödyntää aktiivista piirustusta, joka esimerkiksi tässä työssä piirtää yksilöllisen kuvan jokaisesta liitoksesta laskentadokumentteihin.

Tedds tarjoaa käyttäjilleen myös valmiita sen kirjastossa olevia laskelmia. Teräsrakenteiden liitoslaskentaan siellä on tällä hetkellä esimerkiksi pilarin pohjalevylaskuri sekä päätylevylaskuri nivelliitoksiin. Joskus voi syntyä tarve muokata

liitoslaskuria tiettyyn tapaukseen sopivaksi. Mathcadissa tämä käy helposti laskemisen tapahtuessa itse laskentapohjassa. Tedsissä täytyy sen sijaan aukaista laskelmat Tedds for Wordissa, jolloin laskelmia voidaan muokata. Tällöin ohjelmassa ratkaistaan vain itse laskelmaa ja parametrit täytyy syöttää laskentapohjaan käsin.

Molemmat ohjelmat soveltuvat hyvin liitoslaskureiden kirjoittamiseen. Teddsin etuja ovat Word-pohjaisuus, dokumentointi ja interfacen tuoma helppokäyttöisyys. Mathcad on vastaavasti hieman nopeampi omaksua, ja laskelmia on tehokkaampi kirjoittaa. Erojen selvittämiseksi syvällisemmin ohjelmia täytyisi verrata pitkällä aikavälillä projektityössä.

7 YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUKSEN AIHEET

7.1 Yhteenveto

Tekla Teddsin omaksuminen ja toiminnallisuuksien opettelu kävi dokumentaation avulla melko kivuttomasti. Vaikka työhön pyrittiin sisällyttämään mahdollisimman kattavasti ohjelman ominaisuuksia, on asioita, joita ei tässä työssä käydä läpi lainkaan. Tedds soveltuu ominaisuuksiltaan liitoslaskentaan hyvin ja onkin vertailtua kilpailijaa hieman monipuolisempi ohjelma. Tapaustutkimuksena luodun liitoslaskurin toteutus onnistui kokonaisuudessaan hyvin, ja valmis laskuri onkin sellaisenaan tehokas käytettäväksi projektityössä.

Tekla Teddsiin tutustuminen ja eri ominaisuuksien omaksuminen vaati yllättävän paljon aikaa. Erityisesti interfacen säätäminen tarkoituksenmukaiseksi osoittautui työlääksi. Seuraavia laskentapohjia tehtäessä ohjelman hallinta sekä mahdollisuus kopioida valmiista laskurista nopeuttavat työtä merkittävästi.

Liitoslaskentaa vertailtiin FEM-ohjelman avulla kahteen yleisimpään suunnittelussa esiintyvään murtotapaukseen. Toisen tutkittavan tapauksen osalta FEM-laskennasta saatiin yllättävän suuria jännityksiä. Vaikka näillä jännityksillä syntyisi todellisessa tilanteessa jonkunlaisia muodonmuutoksia, teräksen plastiset ominaisuudet säilyttäisivät todennäköisesti rakenteen toiminnan.

7.2 Jatkotutkimuksen aiheet

Liitossuunnittelun tehostamiseksi olisi edullista saada liitosvoimat ja -mitat suoraan mallinnusohjelmasta. Vaikka mallinnuksessa käytetty Tekla Structures ja laskentaohjelma Tedds ovat saman ohjelmistoyhtiön tuotteita, ei näiden välillä saa dataa siirrettyä helposti. Näin tiedot liitoslaskentapohjaan täytyy syöttää käsin, tai työssä esiteltä tyypillisiä mittoja sisältävien listojen avulla. Työn aikana syntyi ajatus liitosmittojen ja -voimien automatisoidusta tuonnista ohjelmien välillä.

Tämän diplomityön ohella tekijä tutustui hieman Tekla Open API:iin. Tekla Open API käyttää Microsoftin NET-rajapintaa, jonka avulla Tekla Structuresiin voidaan tuoda kolmannen osapuolen ohjelmia. Tällä rajapinnalla voidaan tehdä lisätoimintoja ja

sovelluksia, jotka saadaan integroitua Tekla Structuresin ympäristöön (Tekla Open API). Näin voitaisiin C#-ohjelmointikielellä tehdä ohjelma, joka siirtää tietoja Structuresin ja Teddsin välillä.

Yksi tapa siirtää tietoja on hyödyntää Teddsin kykyä lukea tietoja tietäntyyppisestä Excel-tiedostosta. Erilaiset liitokset luodaan mallinnusohjelmaan yleensä liitoskomponenteilla. Nämä komponentit sisältävät kaikki liitoksen osat, leikkaukset ja ruuvit. Komponentit siis sisältävät kaiken tiedon kyseisestä liitoksesta, jolloin kaikki parametrit ovat luettavissa siitä. Tekla Open API-rajapinnalla luotu ohjelma asetetaan siis lukemaan halutut tiedot Structuresin liitoskomponenteista ja liitososista, minkä jälkeen se kirjoittaa ne Exceliin. Näin Teddsillä saadaan tiedot alustetusta Excel-tiedostosta, ja tarvittaessa tietoa voidaan viedä samalla tavalla toisinpäin.

LÄHDELUETTELO

Access Steel: NCCI: Shear resistance of a fin plate connection (SN017a-EN-EU) [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://www.scribd.com/document/306820930/SN017-NCCI-Shear-Resistance-of-a-Fin-Plate-Connection> [viitattu 16.5.2019].

Create your own Active Sketches [verkkodokumentti]. Saatavissa (Trimblen asiakkaille): <https://teklatetts.support.tekla.com/support-article/2441041> [viitattu 10.5.2019].

European Recommendations for the Design of Simple Joints in Steel Structures [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X0800031X> [viitattu 16.5.2019].

How to create a User Interface parts 1-9 [verkkodokumentti]. Saatavissa (Trimblen asiakkaille): <https://teklatetts.support.tekla.com/support-article/2440857> [viitattu 10.5.2019].

Kaitila, Olli (2010) Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Eurocode 3 -oppikirja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132. Annettu Helsingissä 5.2.1999.

Ongelin, Petri & Valkonen, Ilkka (2010) Hitsatut profiilit EN 1993 -käsikirja. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

SCI: Joints in steel construction: Simple Joints to Eurocode 3 [verkkodokumentti] Saatavissa: https://www.steelconstruction.info/File:SCI_P358.pdf?internal_link [viitattu 16.5.2019].

SFS-EN 1993-1-1, 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardoimisliitto SFS: 80+18 s.

SFS-EN 1993-1-8, 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Suomen standardoimisliitto SFS: 148 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, 1996. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, 51 s.

Tedds documentation: Quick start Guide, User's Guide, Developer Tutorials, Function Reference, DataList -DataTable Tutorial.

Tekla Open API: Connect Applications to Tekla Structures [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.tekla.com/openAPI> [viitattu 15.7.2019].

Project Diplomityö Wilén				Job Ref.	
Section Liite 1				Sheet no./rev. 1	
Calc. by PW	Date 13.6.2019	Chk'd by	Date	App'd by	Date

LIITE 1. Aktiivisen piirustuksen luonti.

DrawCreateDrawing(h₁, h₁) = **1.000**;
 DrawFont("Arial", max(b₁, h₁) / 20) = **1.000**;
 DrawFillOutline(True) = **1.000**;

“Connected beam”

DrawCreatePath() = **1.000**;
 DrawLine(0 mm, 0 mm, b₂, 0 mm) = **1.000**
 DrawLine(b₂, 0 mm, b₂, t_{f2}) = **1.000**
 DrawLine(b₂, t_{f2}, b₂ / 2 + t_{w2} / 2, t_{f2}) = **1.000**
 DrawLine(b₂ / 2 + t_{w2} / 2, t_{f2}, b₂ / 2 + t_{w2} / 2, h₂ - t_{f2}) = **1.000**
 DrawLine(b₂ / 2 + t_{w2} / 2, h₂ - t_{f2}, b₂, h₂ - t_{f2}) = **1.000**
 DrawLine(b₂, h₂ - t_{f2}, b₂, h₂) = **1.000**
 DrawLine(b₂, h₂, 0 mm, h₂) = **1.000**
 DrawLine(0 mm, h₂, 0 mm, h₂ - t_{f2}) = **1.000**
 DrawLine(0 mm, h₂ - t_{f2}, b₂ / 2 - t_{w2} / 2, h₂ - t_{f2}) = **1.000**
 DrawLine(b₂ / 2 - t_{w2} / 2, h₂ - t_{f2}, b₂ / 2 - t_{w2} / 2, t_{f2}) = **1.000**
 DrawLine(b₂ / 2 - t_{w2} / 2, t_{f2}, 0 mm, t_{f2}) = **1.000**
 DrawLine(0 mm, t_{f2}, 0 mm, 0 mm) = **1.000**
 DrawFillColor("lightblue") = **1.000**
 DrawFillPath() = **1.000**
 DrawDestroyPath() = **1.000**

“Fin plate”

DrawCreatePath() = **2.000**
 DrawLine(b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - b_p, t_{f2}, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - b_p, h₂ - t_{f2}) = **1.000**
 DrawArcAlignment("Centre", "Centre") = **1.000**
 DrawLine(b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - b_p, h₂ - t_{f2}, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - 10mm, h₂ - t_{f2}) = **1.000**
 DrawArc(b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - 10 mm, h₂ - t_{f2} - 10mm, 20mm, 20mm, 90,-90) = **1.000**
 DrawLine(b₂ / 2 - t_{w2} / 2, h₂ - t_{f2} - 10mm, b₂ / 2 - t_{w2} / 2, t_{f2} + 10mm) = **1.000**
 DrawArc(b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - 10 mm, t_{f2} + 10mm, 20mm, 20mm, 0,-90) = **1.000**
 DrawLine(b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - 10 mm, t_{f2}, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - b_p, t_{f2}) = **1.000**
 DrawFillColor("lightgrey") = **1.000**
 DrawFillPath() = **1.000**
 DrawDestroyPath() = **1.000**

“Connecting beam”

DrawCreatePath() = **3.000**
 DrawLine(-1.5*b₂, h₂ - h₁, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - g_h - l_n, h₂ - h₁) = **1.000**
 DrawLinelf(h_{n2} == 0mm, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - g_h - l_n, h₂ - h₁, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - g_h, h₂ - h₁) = **1.000**
 DrawLinelf(h_{n2} == 0mm, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - g_h, h₂ - h₁, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - g_h, h₂ - h₁ + h_{n2}) = **1.000**
 DrawLinelf(h_{n2} > 0mm, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - g_h - l_n, h₂ - h₁, b₂ / 2 - t_{w2} / 2 - g_h - l_n, h₂ - h₁ + h_{n2} - 10mm) = **1.000**

Project Diplomityö Wilén				Job Ref.	
Section Liite 1				Sheet no./rev. 2	
Calc. by PWl	Date 13.6.2019	Chk'd by	Date	App'd by	Date

DrawArcIff(h_{n2} > 0mm, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - l_{n} + 10mm, h_{2} - h_{1} + h_{n2} - 10mm, 20mm, 20mm, 180, -90) = **1.000**

DrawLinelf(h_{n2} > 0mm, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - l_{n} + 10mm, h_{2} - h_{1} + h_{n2}, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h}, h_{2} - h_{1} + h_{n2}) = **1.000**

“pääty eli h_{n.w}”

DrawLine(b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h}, h_{2} - h_{1} + h_{n2}, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + h_{n.w}) = **1.000**

DrawLinelf(h_{n1} == 0mm, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h}, h_{2} - h_{1} + h_{n1} + h_{n.w}, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h}, h_{2} - h_{1} + h_{n1}) = **1.000**

DrawLinelf(h_{n1} == 0mm, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h}, h_{2} - h_{1} + h_{n1}, -1.5*b_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n1}) = **1.000**

DrawLinelf(h_{n1} > 0mm, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + h_{n.w}, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - l_{n} + 10mm, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + h_{n.w}) = **1.000**

DrawArcIff(h_{n1} > 0mm, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - l_{n} + 10mm, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + h_{n.w} + 10mm, 20mm, 20mm, 270, -90) = **1.000**

“tässä”

DrawLinelf(h_{n1} > 0mm, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - l_{n}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + h_{n.w} + 10mm, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - l_{n}, h_{2} - h_{1} + h_{n1}) = **1.000**

DrawLine(b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - l_{n}, h_{2} - h_{1} + h_{n1}, -1.5*b_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n1}) = **1.000**

“DrawLine(-1.5*b_{1}, h_{1} - h_{2} + h_{n1}, -1.5*b_{1}, h_{1} - h_{2}) = ? päätyviiva”

DrawFillColor(“lightblue”) = **1.000**

DrawFillPath() = **1.000**

DrawDestroyPath() = **1.000**

“Laipat”

DrawLine(b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - l_{n}, h_{2} - h_{1} + h_{n1} - t_{f1}, -1.5*b_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n1} - t_{f1}) = **1.000**

DrawLinelf(h_{n1} == 0mm, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h}, h_{2} - h_{1} + h_{n1} - t_{f1}, -1.5*b_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n1} - t_{f1}) = **1.000**

DrawDestroyPath() = **1.000**

DrawLine(-1.5*b_{2}, h_{2} - h_{1} + t_{f1}, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - l_{n}, h_{2} - h_{1} + t_{f1}) = **1.000**

DrawLinelf(h_{n2} == 0mm, -1.5*b_{2}, h_{2} - h_{1} + t_{f1}, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h}, h_{2} - h_{1} + t_{f1}) = **1.000**

DrawDestroyPath() = **1.000**

“Bolts”

DrawCreatePath() = **4.000**

DrawArcIff(n_{1} == 2, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - e_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + e_{1}, d_{0}, d_{0}, 0, 360) = **1.000**;

DrawArcIff(n_{1} == 2, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - e_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + e_{1} + p_{1}, d_{0}, d_{0}, 0, 360) = **1.000**

DrawArcIff(n_{1} == 3, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - e_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + e_{1}, d_{0}, d_{0}, 0, 360) = **1.000**;


DrawArcIff(n_{1} == 3, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - e_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + e_{1} + p_{1}, d_{0}, d_{0}, 0, 360) = **1.000**;

DrawArcIff(n_{1} == 3, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - e_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + e_{1} + 2 * p_{1}, d_{0}, d_{0}, 0, 360) = **1.000**;

DrawArcIff(n_{1} == 4, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - e_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + e_{1}, d_{0}, d_{0}, 0, 360) = **1.000**;

DrawArcIff(n_{1} == 4, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - e_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + e_{1} + p_{1}, d_{0}, d_{0}, 0, 360) = **1.000**;

DrawArcIff(n_{1} == 4, b_{2} / 2 - t_{w2} / 2 - g_{h} - e_{2}, h_{2} - h_{1} + h_{n2} + e_{1} + 2 * p_{1}, d_{0}, d_{0}, 0, 360) = **1.000**;

 WSP Finland Oy Heikkiläntie 7 FI-00210 Helsinki	Project Diplomityö Wilén				Job Ref.	
	Section Liite 1				Sheet no./rev. 3	
	Calc. by PWl	Date 13.6.2019	Chk'd by	Date	App'd by	Date

DrawArcIcf($n_{1}=4$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}+3*p_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**;

DrawArcIcf($and(n_{1}=2, n_{2}=2)$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**;

DrawArcIcf($and(n_{1}=2, n_{2}=2)$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}+p_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**

DrawArcIcf($and(n_{1}=3, n_{2}=3)$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**;

DrawArcIcf($and(n_{1}=3, n_{2}=3)$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}+p_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**

DrawArcIcf($and(n_{1}=3, n_{2}=3)$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}+2*p_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**

DrawArcIcf($and(n_{1}=4, n_{2}=4)$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**;

DrawArcIcf($and(n_{1}=4, n_{2}=4)$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}+p_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**

DrawArcIcf($and(n_{1}=4, n_{2}=4)$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}+2*p_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**

DrawArcIcf($and(n_{1}=4, n_{2}=4)$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}+3*p_{1}$, d_{0} , d_{0} , 0, 360) = **1.000**

DrawFillColor("brown") = **1.000**

DrawFillPath() = **1.000**

DrawDestroyPath() = **1.000**

"Dimension lines"

DrawDimensionAlignment("far") = **1.000**

DrawDimensionStringFit("Auto") = **1.000**

"DrawDimensionLine(0mm, 0mm, 1000mm, 0mm, "x") = ?"

DrawDimensionLine($b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-l_{n}$, $h_{2}-h_{1}+h_{1}$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-l_{n}$, $h_{2}-h_{1}+h_{1}-h_{n1}$) = **1.000**

DrawDimensionLine($b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-l_{n}$, $h_{2}-h_{1}+h_{1}+h_{1}/10$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}$, $h_{2}-h_{1}+h_{1}+h_{1}/10$, $b_{2}/2-t_{w2}/2$, $h_{2}-h_{1}+h_{1}+h_{1}/10$) = **1.000**

"DrawDimensionLine($b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{1}-t_{f2}$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}$, $h_{2}-h_{1}+h_{1}-t_{f2}-e_{1.2}$) = ?"

DrawDimensionLine($n_{2}>1$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}$, $h_{2}-h_{1}+e_{1}$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}-p_{2}$, $h_{2}-h_{1}+e_{1}$) = **1.000**

DrawDimensionLine($b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}$, $h_{2}-h_{1}-h_{1}/15$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-e_{2}$, $h_{2}-h_{1}-h_{1}/15$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-b_{p}$, $h_{2}-h_{1}-h_{1}/15$) = **1.000**

DrawDimensionAlignment("near") = **1.000**

DrawDimensionLine($b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-l_{n}$, $h_{2}-h_{1}$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-l_{n}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-l_{n}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}$, $b_{2}/2-t_{w2}/2-g_{h}-l_{n}$, $h_{2}-h_{1}+h_{n2}+e_{1}+p_{1}$) = **1.000**

"Load arrows"

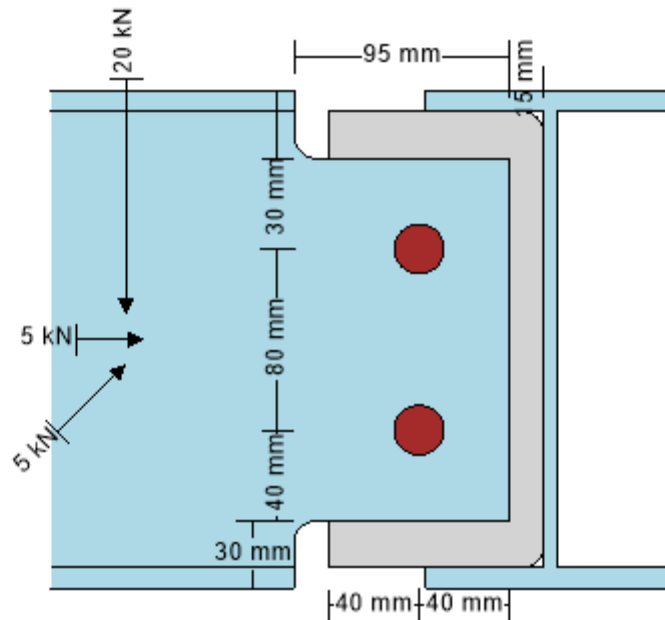
Project Diplomityö Wilén				Job Ref.	
Section Liite 1				Sheet no./rev. 4	
Calc. by PWi	Date 13.6.2019	Chk'd by	Date	App'd by	Date

DrawLabelLineCap("bar", "arrow") = **1.000**;


DrawLabelIf($V_{Ed} > 0$ kN, $-1.2 \cdot b_{1}$, $h_{2} - h_{1} + 0.75 \cdot h_{1} + \max(3 \cdot (V_{Ed} \cdot 1 \text{ mm} / \text{kN}), 30\text{mm})$, $-1.2 \cdot b_{1}$, $h_{2} - h_{1} + 0.55 \cdot h_{1}$, StrFormat("[1] kN", $V_{Ed} / 1000$)) = **1.000**;

DrawLabelIf($N_{Ed} > 0$ kN, $-1.4 \cdot b_{1}$, $h_{2} - h_{1} + 0.5 \cdot h_{1}$, $-1.4 \cdot b_{1} + \max(3 \cdot (N_{Ed} \cdot 1 \text{ mm} / \text{kN}), 30\text{mm})$, $h_{2} - h_{1} + 0.5 \cdot h_{1}$, StrFormat("[1] kN", $N_{Ed} / 1000$)) = **1.000**;

DrawLabelIf($V_{Ed.z} > 0$ kN, $-1.2 \cdot b_{1} - \max(3 \cdot V_{Ed.z} \cdot 1 \text{ mm} / \text{kN}, 30\text{mm})$, $h_{2} - h_{1} + 0.45 \cdot h_{1} - \max(3 \cdot V_{Ed.z} \cdot 1 \text{ mm} / \text{kN}, 30\text{mm})$, $-1.2 \cdot b_{1}$, $h_{2} - h_{1} + 0.45 \cdot h_{1}$, StrFormat("[1] kN", $V_{Ed.z} / 1000$)) = **1.000**;



Project Diplomityö Wilén				Job Ref.	
Section Liite 1				Sheet no./rev. 5	
Calc. by PWi	Date 13.6.2019	Chk'd by	Date	App'd by	Date

 WSP Finland Oy Heikkiläntie 7 FI-00210 Helsinki	Project Diplomityö Wilén				Job Ref.	
	Section Liite 2				Sheet no./rev. 1	
	Calc. by F	Date 29.8.2019	Chk'd by	Date	App'd by	Date

LIITE 2. Laskentadokumentti.

Full Depth EN

Supported beam

"IPE 200"

Supporting beam

"IPE 200"

PARAMETERS

Yield strength, supported beam

$f_{y,b1} = 235.000$ MPa

Yield strength, supporting beam

$f_{y,b2} = 235.000$ MPa

Ultimate tensile strength, supported beam

$f_{u,b1} = 360.000$ MPa

Ultimate tensile strength, supporting beam

$f_{u,b2} = 360.000$ MPa

Yield strength, fin plate

$f_y = 355.000$ MPa

Ultimate tensile strength, fin plate

$f_u = 510.000$ MPa

Bolt diameter

$d = 16.000$ mm

Bolt hole diameter

$d_0 = 18.000$ mm

Yield strength of bolt

$f_{yb} = 640.000$ MPa

Ultimate tensile strength

$f_{ub} = 800.000$ MPa

Areas of bolt

$A_s = 157.000$ mm²

$A = 201.000$ mm²

Bolt nut diameter

$d_m = 24.000$ mm

Bolt factors

$\alpha_v = 0.600$

$k_2 = 0.9$

Correlation factor for welds

$\beta_w = 0.900$

Modulus of elasticity

$E = 210$ GPa

Partial safety factors

Partial factor for member cross section

$\gamma_{M0} = 1$

Partial factor for member cross stability

$\gamma_{M1} = 1$

Partial factor for bolts, welds and bearing

$\gamma_{M2} = 1.25$

Partial factor for tying resistance

$\gamma_{M3} = 1.10$

BOLTS AND DIMENSIONS

Bolts

Project Diplomityö Wilén				Job Ref.	
Section Liite 2				Sheet no./rev. 2	
Calc. by F	Date 29.8.2019	Chk'd by	Date	App'd by	Date

Number of bolts $n = n_1 * n_2 = 2.000$

Bolt class **Class = 8.800**

Bolt thread in shear plane $t_s = \text{"yes"}$

Spacing and edge distance of bolts

Upper notch $h_{n1} = 35.000$ mm

Lower notch $h_{n2} = 35.000$ mm

Notch length $l_n = 85.000$ mm

Height of notched web $h_{n.w} = h_1 - (h_{n1} + h_{n2}) = 130.000$ mm

Spacing in vertical direction $p_1 = 70.000$ mm

Edge distance in vertical direction $e_1 = 35.000$ mm

Edge distance between bolt hole and supporting beam, vertical $e_{1.2} = e_1 + h_{n1} - t_{f2} = 61.500$ mm

Edge distance between bolt hole and supported beam, horizontal $e_2 = 35.000$ mm

Edge distance between bolt hole and plate edge, horizontal $e_{2.2} = 35.000$ mm

Spacing in horizontal direction $p_2 = 0.000$ mm

Spacing between beams $g_h = 15.000$ mm

Fin plate

Plate thickness $t_p = 10.000$ mm

Plate height $h_p = h_2 - 2 * t_{f2} - 2\text{mm} = 181.000$ mm $L_w = h_p$

Plate width $b_p = e_2 + p_2 + e_{2.2} + g_h = 85.000$ mm

Eccentricity for normal force $z_y = 0$ mm

Fillet welds of fin plate $a = 4.000$ mm

Net area of fin plate $A_{v.net} = (h_p - n_1 * d_0) * t_p = 1450.000$ mm²

Plate area $A_{v.p} = h_p * t_p = 1810.000$ mm²

Loading

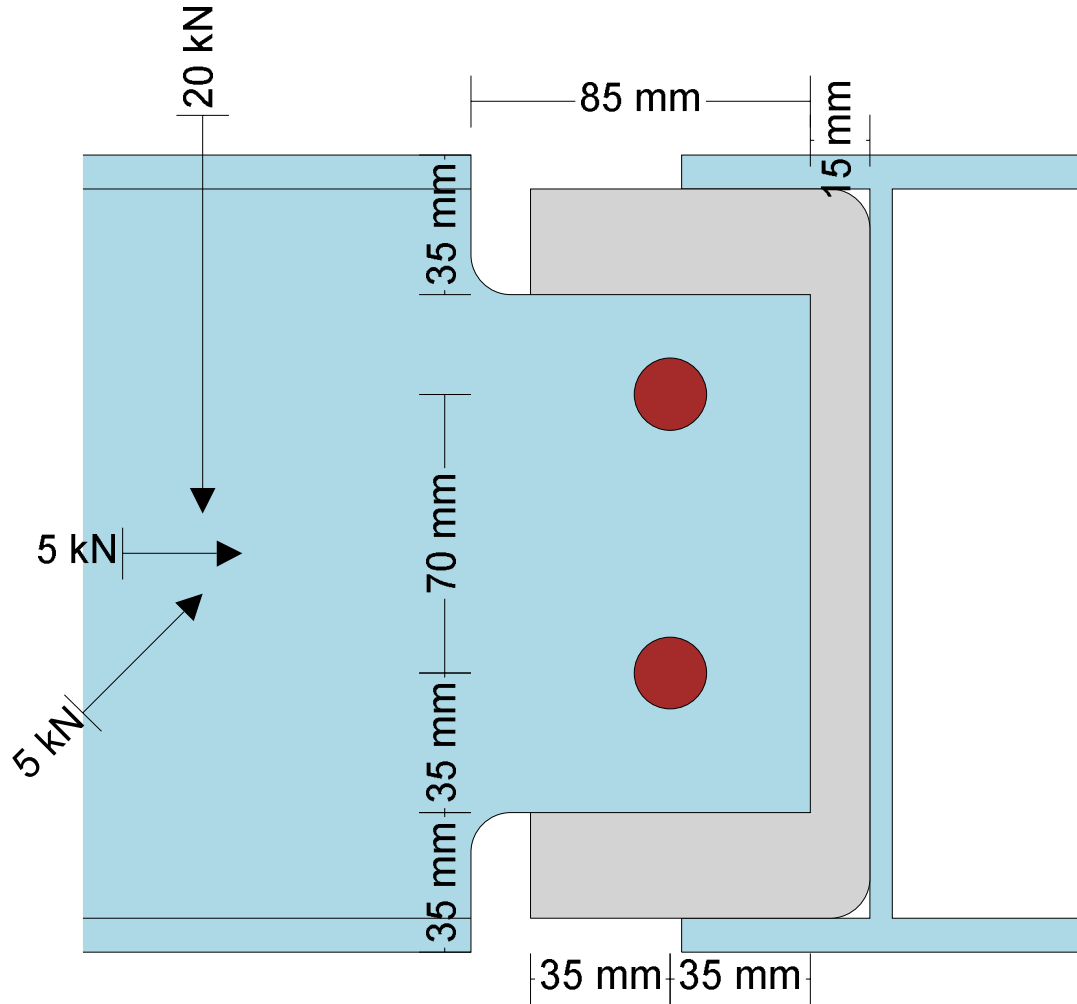
Shear force, vertical $V_{Ed} = 20.000$ kN


Shear force, horizontal $V_{Ed,z} = 5.000$ kN

Normal force $N_{Ed} = 5.000$ kN

Eccentricity for shear force $z = p_2 / 2 + e_2 + g_h + t_{w2} / 2 = 52.800$ mm

Connection bending moment for bolts, caused by eccentricities of joint $M = V_{Ed} * z + N_{Ed} * z_y = 1.056$ kNm



 WSP Finland Oy Heikkiläntie 7 FI-00210 Helsinki	Project Diplomityö Wilén				Job Ref.	
	Section Liite 2				Sheet no./rev. 4	
	Calc. by F	Date 29.8.2019	Chk'd by	Date	App'd by	Date

DESIGN SUMMARY

CHECK	UTILIZATION
Check 1 Bolt group shear	33.5 %
Check 2: Bearing resistance of fin plate	19.1 %
Check 3: Shear resistance of fin plate	6.8 %
Check 4: Shear block of fin plate	9.8 %
Check 5: Bending of fin plate	5.4 %
Check 6: Lateral torsional buckling of fin plate	5.4 %
Check 7: Buckling of fin plate	0.7 %
Check 8: Bearing resistance of beam web	48.3 %
Check 9: Shear resistance of beam	22.8 %
Check 10: Shear block of beam web	31.0 %
Check 11: Combined bending, shear and axial force resistance in notched beam at bolt line	197.3 %
Check 12: Combined bending, shear and axial force resistance in notched beam at end of the notch	380.4 %
Check 13: Beam web in local shear	7.2 %
Check 14: Beam in punching shear	9.5 %
Check 15: Weld resistance of fin plate	6.5 %